

**Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la Fitodepuración de Aguas
Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)**

Erika Vanessa Vanegas Gómez

**Universidad Nacional Abierta y A Distancia -UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y De Medio Ambiente**

ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Puerto Gaitán, mayo 2020

**Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la Fitodepuración de Aguas
Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)**

Erika Vanessa Vanegas Gómez

Monografía presentada como requisito para optar el título de Ingeniera Ambiental

Ing. Zulma Lorena Durán Hernández

Directora de Proyecto

Universidad Nacional Abierta y A Distancia -UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y De Medio Ambiente

ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Puerto Gaitán, mayo 2020

Resumen

La presente monografía se llevó a cabo como una investigación documental y de análisis crítico más no experimental, donde el objetivo principal fue determinar la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD).

En primer lugar, se inició con la recopilación bibliográfica de investigaciones o experiencias basadas en el tratamiento biológico de ARD y ARnD a partir del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) llevadas a cabo a nivel nacional e internacional. Para cada una de las investigaciones se identificó la metodología que fue aplicada para cada sistema de tratamiento, luego los parámetros físicos, químicos y biológicos analizados, y por último las concentraciones iniciales y finales de cada contaminante presente en el agua residual.

Las investigaciones en análisis permitieron determinar que el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) logró eficiencias de remoción significativamente altas para los contaminantes presentes en el Agua Residual Doméstica (ARD) y en el Agua Residual No Doméstica (ARnD), en parámetros como lo fueron la materia orgánica medida como la DBO₅, DQO, SST, ST y Turbidez, en nutrientes expresados como el Nitrógeno y el Fósforo, y por último en organismos patógenos como lo son Coliformes Totales y Coliformes Fecales que se encuentran presentes sólo en el Agua Residual Doméstica (ARD), identificando porcentajes de remoción para este tipo de efluente, de hasta 91,06% para la DBO₅, 93,9% de DQO, 94% de NH₄, 87,5% para el PO₄³⁻, y remociones de hasta el 99,9% para los CT y CF.

Por otro lado en las Aguas Residuales No Domésticas, se encontró que en las investigaciones se evaluaron otros parámetros adicionales como lo son NO₃, NO₂, NTK y TP en comparación con los que se evaluaron en las aguas residuales domésticas, donde también se lograron

eficiencias de remoción significativas con un 89,83% para el NO₃, 86,7% para el NO₂, 85,71% para el NTK y finalmente remociones de hasta el 69% para el TP, demostrando así, el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) ser una alternativa eficiente para la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Doméstica (ARnD) a nivel nacional e internacional.

Palabras Clave: Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), Agua Residual Doméstica (ARD), Agua Residual No Doméstica (ARnD), materia orgánica, nutrientes, fitodepuración

Tabla de Contenido

Resumen.....	3
1. Planteamiento del Problema.....	10
2. Justificación.....	13
3. Objetivos	14
3.1. Objetivo General	14
3.2. Objetivos Específicos.....	14
4. Marco Conceptual y Teórico.....	15
4.1. Fitodepuración	21
4.2. Jacinto de Agua o Lirio Acuático (<i>Eichhornia Crassipes</i>).....	22
4.2.1. Descripción.....	22
4.2.2. Biología	23
4.2.3. Fruto	23
4.2.4. Procedencia	23
4.3. Macrófita Acuáticas	23
4.5. Contaminantes Importantes en el Tratamiento de Aguas Residuales.....	24
4.5.1. Materia Orgánica en Suspensión.....	25
4.5.2. Nitrógeno.....	25
4.5.4. Eliminación de DBO ₅	26
4.6. Funciones de las Macrófitas en los Mecanismos de Remoción.....	27
4.6.1. Humedales Artificiales	28

5.	Artículos Trabajados	29
5.1.	Artículos de Aguas Residuales Domésticas.....	29
5.1.1.	Artículo 1.....	29
5.1.2.	Artículo 2.....	30
5.1.3.	Artículo 3.....	31
5.1.4.	Artículo 4.....	32
5.2.	Artículos de Aguas Residuales no Domésticas.....	34
5.2.1.	Artículo 1.....	34
5.2.2.	Artículo 2.....	35
5.2.3.	Artículo 3.....	37
5.2.4.	Artículo 4.....	38
6.	Resultados y Discusión	40
6.1.	Análisis de la Eficiencia del Jacinto de Agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) en la fitodepuración en Aguas Residuales Domésticas	40
6.2.	Análisis de la Eficiencia del Jacinto de Agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) en la fitodepuración en Aguas Residuales no Domésticas	50
6.3.	Mecanismos de Remoción de los Contaminantes del Jacinto de Agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) en la Fitodepuración de ARD y ARnD.....	59
	Conclusiones	62
	Recomendaciones.....	64
	Bibliografía	65

Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales Domésticas	40
Tabla 2. Análisis de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales no Domésticas	50

Índice de Figuras

Figura 1. Morfología de la Planta acuática Jacinto de Agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>)	22
Figura 2. Transformación del Nitrógeno en los Procesos de Tratamiento Biológico	26
Figura 3. Comparación de Porcentajes de Remoción de Contaminantes en la Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD)	42
Figura 4. Comparación de Porcentajes de Remoción de Contaminantes en la Fitodepuración de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)	52

Abreviaturas

ARD: Agua residual doméstica

ARnD: Agua residual no doméstica

CE: Conductividad eléctrica

CT: Coliformes Totales

CF: Coliformes Fecales

CW: Humedal Construido

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda química de oxígeno

E. Coli: Escherichia coli

NO₃: Nitrato

NO₂: Nitrito

NH₄⁺: Amonio

NH₃-N: Amoníaco

NTK: Nitrógeno total de Kjeldahl

OD: Oxígeno disuelto

PO₄-P: Fósforo

PO₄³⁻: Fosfato

ST: Sólidos Totales

SST: Sólidos Suspendidos Totales

SDT: Sólidos disueltos totales

TN: Nitrógeno total

TP: Fósforo total

UNT: Unidades nefelométricas de turbidez

1. Planteamiento del Problema

Debido al crecimiento poblacional a nivel mundial e incremento de las actividades industriales, agropecuarias y domésticas, se ha producido un consumo y uso elevado del recurso hídrico, lo cual ha generado que la cifra de vertimientos de aguas residuales domésticas (ARD) y aguas residuales no domésticas (ARnD) aumente, siendo este uno de los principales problemas ambientales hoy en día.

La contaminación ambiental generada por el vertimiento de aguas residuales tiene como principal inconveniente la cantidad de sustancias de tipo doméstico, industrial y comercial que van a los cuerpos de agua. Arcos Pulido, Ávila de Navia, Estupiñán Torres, & Gómez Prieto (2005) afirman que los vertimientos de tipo doméstico son los de mayor generación, caracterizándose por tener altos porcentajes de materia orgánica y contaminación microbiana de origen fecal (p.69). Adicionalmente las concentraciones de nutrientes en estas aguas generan procesos de eutrofización, lo que va en detrimento de los ecosistemas acuáticos. Desde el punto de vista ambiental se puede considerar que la contaminación de cuerpos de agua por vertimientos de aguas residuales de tipo doméstico y no doméstico han venido causando efectos negativos en la biota acuática, desequilibrios en el ciclo de agua, perturbaciones en los ecosistemas, deterioro en la salud humana y limitaciones en los usos del agua.

Vanguardia Editorial (2016) expresa que en Colombia se puede evidenciar que no se cuenta con una recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales adecuada. Esto se ve reflejado por ejemplo en la zona rural donde el acceso al servicio de acueducto y alcantarillado no superan una cobertura del 75% (Gómez, 2018). El Gobierno nacional ha venido desarrollando e implementando diferentes acciones con el fin de poder ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos ambientales generados por esta problemática, acciones como lo son

la expedición de la Política de Agua Potable y Saneamiento Básico la cual tiene unas metas específicas para el incremento de la cobertura de acueducto y alcantarillado, también se encuentra la Política Nacional Ambiental en la cual se han desarrollado instrumentos económicos como la tasa retributiva, los diagnósticos, guía y modelos de priorización para la gestión de aguas residuales, entre otros (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004). Además de ello se ha venido evidenciando la labor de las autoridades ambientales nacionales y regionales, en cuanto al tema de la construcción de infraestructura de saneamiento básico, lo que ha venido contribuyendo de manera significativa en el tratamiento de las aguas residuales.

Es por ello, que se establece que aunque el país cuenta con la Resolución 0631 de 2015 que establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, se ha evidenciado que en algunos sectores tanto domésticos como productivos no se cumplen con estas leyes, lo cual se debe posiblemente debido a la falta de acompañamiento de las instituciones del estado a la comunidad, el desconocimiento y debilidad institucional para fijar con mayor claridad los objetivos de las leyes, así como el control y seguimiento en los programas y proyectos de saneamiento básico.

Actualmente los tratamientos de aguas residuales convencionales son costosos, y requieren de procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales requieren de un uso elevado de energía eléctrica para llevar a cabo la limpieza y desinfección del agua residual, sumándole a ello, para llevar a cabo la implementación de una PTAR se debe contar con grandes extensiones de terreno, donde se tenga la disponibilidad para instalar cada uno de los sistemas necesarios para tratar las aguas residuales que son vertidas en estos sitios.

Es por ello por lo que nace la necesidad de investigar sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales biológicos, los cuales consisten en sistemas naturales que aprovechan la capacidad depurativa que tienen algunas plantas, así como su función natural de producir oxígeno logrando un mejoramiento en la calidad del efluente (Del Arco Garcia, 2015). En el sistema de fitodepuración las plantas acuáticas son las encargadas de asimilar y eliminar los contaminantes presentes en el agua residual.

Los tratamientos biológicos que involucran macrófita acuáticas han demostrado ser eficientes en la fitodepuración de las aguas residuales con altos contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía eléctrica y la practicidad en el montaje y operación. (Martelo & Lara Botero, 2012). Las macrófita acuáticas reúnen diversos tipos de plantas, pero en esta monografía el enfoque estará basado en el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), la cual es una planta que se caracteriza por poseer un sistema de raíces que se encuentran en contacto directo con el agua residual y es por este medio donde se llevan a cabo los procesos físicos, químicos y biológicos necesarios para la eliminación de los contaminantes.

Es por esto, por lo que debido a los beneficios que ofrecen los sistemas de tratamiento biológico para el mejoramiento de la calidad de los efluentes tratados por medio de plantas acuáticas, surge la necesidad de investigar alternativas que colaboren con el objetivo general, es decir con determinar la eficiencia que tiene el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de aguas residuales de tipo doméstico (ARD) y no doméstico (ARnD).

2. Justificación

Durante los últimos años se ha venido evidenciando la presión que se realiza a los recursos naturales a causa de la sobrepoblación que tiene el mundo, esto genera que la demanda para la prestación de los servicios públicos básicos como lo son la energía, el agua y el saneamiento básico se intensifique. Aunque se han hecho inversiones para suplir estas demandas aún muchas personas sufren por acceso a agua potable y una correcta disposición de sus aguas residuales.

En este contexto nace la importancia de investigar la eficiencia que tiene el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), ya que con la implementación de estos sistemas de tratamiento biológicos se brinda a la comunidad una alternativa de fitodepuración de sus vertimientos la cual se puede llevar a cabo desde cualquier parte del territorio colombiano.

La fitodepuración de las aguas residuales por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) es una alternativa muy importante para los sectores productivos, para las industrias y la población en general ya que por medio de este, se permite el tratamiento y la reutilización de las aguas ya tratadas, se minimiza el desperdicio y se incentiva al uso adecuado del recurso hídrico, lo cual instruye a las personas en procesos de tratamiento biológicos los cuales contribuyen significativamente con el mejoramiento de la calidad del agua tratada.

Se espera que a partir de este estudio la comunidad universitaria y la comunidad en general, identifique la importancia que tiene la investigación de sistemas de tratamientos biológicos, en los cuales se realiza el aprovechamiento de plantas acuáticas presentes en el territorio colombiano para la fitodepuración de las aguas residuales de tipo doméstico, comercial e industrial posibilitando la oportunidad de implementación de este tipo de sistemas en zonas urbanas y en zonas rurales.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Doméstica (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), mediante la revisión y análisis de estudios y/o investigaciones realizados a nivel nacional e internacional.

3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar estudios y/o investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional correspondientes a la determinación de la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) como agente fitodepurador de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)
- Comparar la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y No Domésticas (ARnD) de acuerdo con los estudios y/o investigaciones recopiladas.
- Establecer los mecanismos de remoción de contaminantes del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) de acuerdo con los estudios y/o investigaciones recopiladas.

4. Marco Conceptual y Teórico

En Colombia al igual que en otros países, los cuerpos hídricos son receptores de todo tipo de vertimientos de aguas residuales los cuales deterioran su calidad, ponen en riesgo la salud de las personas, disminuyen la productividad de los cultivos y aumentan los costos de tratamiento del recurso hídrico (Bernal , Cardona, Galvis , & Peña , 2003). Cuando las aguas residuales que son vertidas a las fuentes hídricas como ríos, mares, lagunas, entre otros, presentan una elevada concentración de contaminantes como lo son la materia orgánica y los nutrientes, una de las alternativas más eficientes para el tratamiento de estos efluentes es por medio de sistemas biológicos, debido a su facilidad de mantenimiento e instalación. Martelo & Lara Botero (2012) expresa que los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), ha venido siendo uno de más investigados en los últimos años.

Esto se debe a que la planta acuática ha demostrado tener una buena adaptabilidad a aguas residuales con altas cargas contaminantes y así mismo ha sido eficiente en la fitodepuración de contaminantes presentes en los efluentes de origen doméstico, industrial y comercial. Fernández, Beascoechea, Muñoz, & Fernández (2014) expresa que los sistemas de tratamiento (acuáticos) están basados en el mantenimiento de una cobertura vegetal de macrófita flotantes que se encuentran presentes en la lámina de agua, las cuales son dispuestas a modo de estanques o canales en serie por medio de las cuales discurre el efluente. Y es por medio de estos donde son llevados a cabo los procesos biológicos de depuración de los contaminantes presentes en el agua residual.

Fernández Gonzáles et al. (2014) indica que también son conocidos como sistemas blandos para el tratamiento de aguas residuales, siendo métodos que suelen ser menos costosos y sofisticados en cuanto a operación y mantenimiento frente a los sistemas de tratamiento

convencionales, se caracterizan por ser igualmente de eficientes con relación a la eliminación de materia orgánica e incluso más efectivos en la remoción de elementos patógenos y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo. Lo cual favorece significativamente el proceso de tratamiento de aguas residuales, ya que se reducen los costos en cuanto a la limpieza de este tipo de efluentes y se obtienen mayores eficiencias en la remoción de algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Las macrófita pueden ser flotantes, sumergidas o emergentes, en el caso de las flotantes como la *Eichhornia Crassipes* se realiza una plantación que ocupa todo el canal o espejo de agua a tratar, forzando a que el agua residual circule por medio de las raíces siendo estas las encargadas de degradar, absorber y asimilar los contaminantes. En ese sentido, las plantas depuran el agua mediante la asimilación directa de nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, los cuales son retirados del medio e incorporados a su tejido vegetal (Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, 2010). Teniendo como ventaja que el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) es capaz de mineralizar los contaminantes presentes en el agua residual, obteniendo de la materia orgánica un alimento para ellas. Siendo las plantas acuáticas o macrófita en flotación una buena superficie de contacto y proveyendo un ambiente adecuado para que los microorganismos presentes en las raíces de las plantas transforman los contaminantes y reducen sus concentraciones (Peña Varon, Van Ginneken, & Madera , 2003).

La velocidad de circulación del agua debe ser más lenta que en los sistemas de tratamiento convencionales, siendo las plantas acuáticas las encargadas de suministrar el oxígeno que necesitan los microorganismos para que absorban y asimilen los contaminantes en sus tejidos, y todo se da debido a una serie procesos de eliminación químicos, físicos y biológicos (Ruiz , Acero , Russo , & Lapuente , 2017). Es por ello por lo que es importante estimar un tiempo de retención hidráulico el cual permita que el agua residual esté en contacto con las raíces de la

planta acuática y así se permita realizar el proceso de fitodepuración. Los contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico y no doméstico, en el sistema de tratamiento con el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) son removidos por una serie compleja de operaciones y procesos unitarios tales como la sedimentación, filtración, degradación microbiológica, nitrificación, desnitrificación y metabolismo de las plantas (Peña Varón et al., 2003). Procesos los cuales demuestran ser eficientes ya que algunos de ellos son también llevados a cabo en el tratamiento de aguas residuales de manera convencional. La principal diferencia entre los sistemas de tratamiento convencionales y los sistemas de biológicos, es que en el sistema convencional las aguas residuales son tratadas de manera más rápida y en un medio más manipulado, mientras en los sistemas biológicos se tiene una remoción de contaminantes lenta y se evidencia que el medio no está siendo manipulado (Morales, 1986).

Araya (2016) expresa que el tratamiento biológico de aguas residuales se basa en la acción de organismos microbiológicos y fotosintéticos los cuales actúan sobre los contaminantes produciendo una nueva biomasa. La cual una vez cumplido su ciclo en el sistema de tratamiento, puede ser aprovechada para una serie de productos los cuales no afectan el medio donde se dispongan siempre y cuando se le dé un manejo adecuado a esta biomasa.

Se presentan a continuación los conceptos que serán nombrados a lo largo de la presente monografía.

Aguas Residuales Domésticas (ARD): Son aquellas procedentes de hogares, industrias e instalaciones de servicios, las cuales pertenecen a descargas de los baños, duchas, lavamanos, cocinas y de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes, pisos y de ropa. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

Aguas Residuales no Domésticas (ARnD): Son aquellas que son originadas en instalaciones industriales, las cuales incluyen la fabricación de productos de alimentación, farmacéuticos, metalúrgicos entre otros (Min ambiente, 2015).

Afluente: Agua residual cruda o bruta que ingresa a un proceso de tratamiento o también conocido como curso de agua que desemboca en otro de menor capacidad (Machado & Roldán P, 1981).

Coliformes Totales: La Organización Mundial De La Salud (2011) dice que las bacterias coliformes totales incluyen una gran variedad de bacterias aerobias y anaerobias facultativos, gramnegativos y no esporulados los cuales son capaces de crecer en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares que fermentan la lactosa y producen ácido aldehído en 24 horas a 35° - 37° C. el grupo de coliformes incluye cuatro géneros de la familia Enterobacteriácea, los cuales incluyen la Escherichia, Klebsiella, Citrobacter y Enterobacter.

Coliformes Fecales: Son también conocidos como coliformes termo tolerantes, llamados así por que soportan temperaturas de 44° a 45°C, de vida libre y se transmiten por los malos hábitos de manipulación de alimentos, en este grupo se incluyen el 90% de las colonias Escherichia Coli y algunas cepas de Enterobacter, Citrobacter y Proteus, hacen parte del grupo de coliformes totales, son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencias de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal (Ramos Ortega , A Vidal , Vilardy Q , & Saavedra Diaz , 2008).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno el cual es medido en mg/L que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos, también se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica que hay en las aguas

residuales, esta prueba se realiza durante un tiempo de 5 días a una temperatura de 20 °C por lo que se expresa como DBO₅ (Fioravanti, Vega , Hernández , Okumoto , & Yeomans, 2005).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer químicamente la materia orgánica, utilizando un oxidante como el permanganato potásico o el dicromato de potasio (Villegas , y otros, 2017).

Escherichia Coli: Metcalf & Eddy (1995) expresan que la E. Coli es parte de la población bacteria y es el género más representativo de las fuentes de contaminación fecal (p.108).

Eutrofización: Es el proceso de contaminación más importante en ríos y lagos, el cual es provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente por el nitrógeno y el fósforo, los cuales son procedentes principalmente de las actividades humanas (Quiròs, 2000).

Efluentes Industriales: Son considerados a las descargas de las aguas residuales resultantes de los procesos industriales, las cuales contienen sustancias disueltas y en suspensión, incluyendo materiales biodegradables, sustancias inorgánicas, nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles, que pueden ser clasificados por sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Rodriguez , Botelho, & Cleto , 2008).

Materia Orgánica: Espigares García & Perez López, Estudio sanitario del agua (1995) afirma que la materia orgánica es sólida que provienen de los reinos animal y vegetal, como también de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos y la cual está conformada por Proteínas (40-60 %) - Carbohidratos (25-50 %) - Grasas y aceites (10 %) (p.72).

Metales Pesados: Son un grupo de elementos químicos los cuales presentan una densidad relativamente elevada y que tienen cierta toxicidad para los humanos y el medio ambiente (Field, 2002).

Microorganismos: Son organismos vivos o sistemas biológicos, que se encuentran presente tanto en aguas superficiales como en aguas residuales y se clasifican en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, los cuales tienen diferentes formas y tamaños (Arias Triguero, 2004).

Nitrógeno Amoniacal: Es el que se ocasiona por la degradación de nitrógeno orgánico y que por medio de la acción bacteriana y el oxígeno se oxida a nitritos y finalmente a nitratos, y proviene de la degradación biológica de la materia orgánica presente en la naturaleza. (González, 2013).

Nutrientes: Da Cámara, Hernández, & Paz (2014) expresa que son compuestos químicos como lo es el nitrógeno o el fósforo necesarios para el metabolismo de un ser vivo, cuando se vierten al entorno acuático estos pueden favorecer el crecimiento de la vida acuática no deseada y ocasionar la eutrofización (p.2).

Patógeno: Los principales organismos patógenos en las aguas residuales son las bacterias, los protozoos, los helmintos y los virus pueden proceder de desechos humanos, los cuales están infectados y son portadores de enfermedades (Ríos Tobón , Agudelo Cadavid , & Gutiérrez Builes , 2017).

pH: Secretaria General de la Comunidad Andina (2018) expresa que la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia ya que es un indicador de acidez o de alcalinidad (p.34).

Sólidos Suspendidos Totales: Son las fracciones de Sólidos totales (ST) retenidos en un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica (López Hernández , Martínez Nava, & García Santiago, 2014).

Sólidos Totales: Se conocen como la materia que se obtiene como residuo luego de someter el agua residual a un proceso de evaporación a una temperatura de 103°C a 105°C (Metcalf & Eddy, 1995).

Sólidos Sedimentables: Son sólidos suspendidos los cuales su densidad es mayor a la del agua, se sedimenta en un periodo de tiempo, los cuales pueden ser expresados en función de un volumen ml/L o de una masa mg/L, los cuales se detectan porque están en el fondo debido a la sedimentación (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial DNG, 2000) .

Sustrato: Delgadillo et al. (2010) dice que está formado comúnmente por el suelo, arena, grava, roca, sedimentos y sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que es la encargada de realizar la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual (p.12).

Vegetación: Cobertura de plantas las cuales están determinadas fundamentalmente por las raíces y rizomas, estas plantas recogen la energía solar para transformar el carbono inorgánico de la atmósfera en carbono orgánico, teniendo la habilidad de poder hacer transferencia de oxígeno desde la atmósfera por medio de las hojas y los tallos hasta donde se encuentran sus raíces (Arias Triguero, 2004).

4.1. Fitodepuración

La fitodepuración es la reducción o eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales por medio de una serie de complejos procesos biológicos, físicos y químicos en los cuales participan las plantas que son propias del ecosistema acuático (Curt Fernandez de la Mora, 2014, pág. 61). Cuando hablamos de fitodepuración debemos de tener en cuenta que esta se da en ecosistemas que son receptores de aguas contaminadas, las cuales son tratadas por medio de las plantas acuáticas que se cultivan en este medio siendo estas las encargadas de llevar

a cabo el proceso de limpieza y remoción de los contaminantes que se encuentran presentes en ellas.

4.2. Jacinto de Agua o Lirio Acuático (*Eichhornia Crassipes*)

4.2.1. Descripción

Araya (2016) expresa que el Jacinto de agua o lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*), es una de las plantas acuáticas más prolíferas de la Tierra, se desarrolla en agua dulce. Es de la familia Pontederiaceae se encuentra libre en flotación, su tamaño es muy variable, sus hojas van desde los pocos centímetros hasta el metro de longitud. Comúnmente utilizada como planta ornamental acuática para estanques, acuarios y lagos, hoy en día se encuentra extendida por los trópicos y subtrópicos de todo el mundo, así como por numerosas zonas templadas libres de heladas (Sanz Elorza, Dana Sanchez, & Sobrino Vesperinas, 2004).

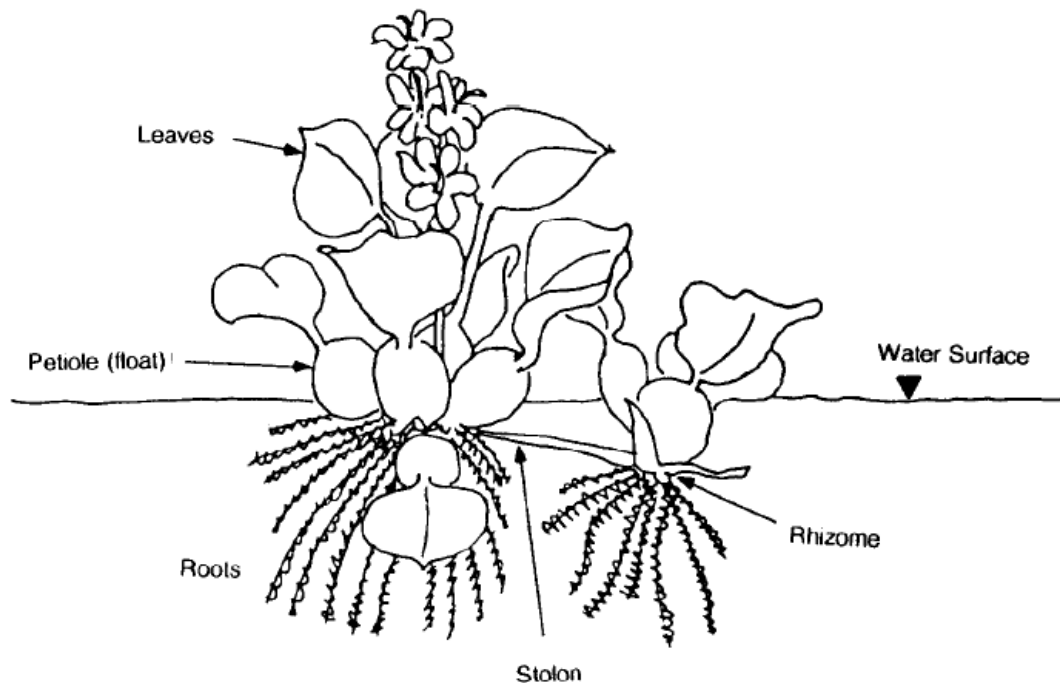


Figura 1. Morfología de la Planta acuática Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*)

Fuente: Environmental Protection Agency (1988)

4.2.2. Biología

En la Figura 1 se encuentran ilustradas las partes del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), la cual es una planta vascular acuática perenne de agua dulce, sus hojas son redondeadas, verticales y de color verde brillante, presenta espigas de flores de color lavanda, los peciolos son hinchados a modo de flotador, esta flotabilidad se debe a que poseen un tejido vegetal parenquimático el cual es conocido como aerénquima. Las raíces son plumosas y se desarrollan en base de las hojas, sus yemas axilares se desarrollan periódicamente como estolones los cuales crecen horizontalmente para dar lugar de crecimiento a otras plantas, pueden llegar a medir más de 50 cm de longitud, sus hojas son gruesas y están compuestas por un peciolo y la cuchilla (Baptiste & Cabrera Amaya, 2018)

4.2.3. Fruto

El fruto es una cápsula de paredes delgadas encerrado en un hipanto de paredes gruesas; el cual contiene hasta 450 pequeñas semillas de base ovalada y ápice cónico, con 12 a 15 crestas longitudinales (Mart.Solms).

4.2.4. Procedencia

Se trata de una especie originaria de América del Sur, concretamente de la Cuenca Amazónica (Mart.Solms).

4.3. Macrófita Acuáticas

Son plantas acuáticas que viven en terrenos inundados durante largos periodos de tiempo, siendo las principales responsables de la productividad primaria y de suministrar nichos para otros niveles tróficos (Cirujano, Molina, & Cezón). Son utilizadas para llevar a cabo el proceso de descomposición de materia orgánica, materia inorgánica, nutrientes y otros contaminantes presentes en las aguas residuales. Ramos Montaña, Cárdenas Avella, & Herrera Martínez (2013)

expresa que son plantas que son visibles a simple vista, se clasifican en 4 grupos según su forma de crecimiento ya sea enraizadas, sumergidas, emergentes o flotantes (p.73). Tienen gran importancia ya que estas son las encargadas de reciclar nutrientes y estabilizar sedimentos.

4.4. Mecanismos de Remoción en los Sistemas de Tratamiento de Aguas

Residuales Basados en Macrófitas

Es importante resaltar que uno de los mecanismos de eliminación o remoción de contaminantes que se da en los humedales artificiales es por medio de la asimilación de nutrientes por parte de las macrófita acuáticas las cuales se plantan en el medio a tratar. Arias Triguero (2004) afirma que existe una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que participan en la eliminación de los contaminantes como lo son la filtración, la sedimentación, la precipitación, la degradación aerobia y anaerobia, la nitrificación- desnitrificación. Es por ello por lo que a continuación se enumeran los principales contaminantes y se describe el mecanismo de remoción que se da una vez en contacto con la macrófita acuática.

4.5. Contaminantes Importantes en el Tratamiento de Aguas Residuales

En el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), hay contaminantes los cuales son importantes remover por medio de procesos biológicos. Según (Da Cámara et al., 2014) los contaminantes considerados los más importantes en el tratamiento de aguas residuales por medio de sistemas biológicos son:

- Sólidos en Suspensión
- Materia Orgánica Biodegradable
- Patógenos
- Nutrientes
- Materia Orgánica Refractaria

– Metales Pesados

4.5.1. Materia Orgánica en Suspensión

Arias Triguero (2004) afirma que las partículas cuando entran en un humedal construido quedan retenidas principalmente por tres motivos: 1) las constricciones del flujo producidas por el medio granular, 2) la baja velocidad existente en los humedales y 3) las fuerzas de adhesión entre partículas. A estos procesos físicos se les denomina filtración del medio granular. Las raíces también colaboran en esta retención física de las partículas sólidas (p.15).

4.5.2. Nitrógeno

En la figura 2 se plasman los principales mecanismos de remoción del nitrógeno los cuales son la asimilación y la nitrificación-desnitrificación. La asimilación se da por medio de los microbios presentes en las raíces de la planta los cuales absorben el nitrógeno amoniacal y lo incorporan a su masa celular. En el proceso de nitrificación las bacterias encargadas de llevar los procesos son los nitrosomas los cuales oxidan el amoníaco en nitrito, el cual es un producto intermedio, luego los Nitrobacter transforman el nitrito en nitrato luego ingresa al proceso de desnitrificación donde el nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso el cual es liberado a la atmósfera.

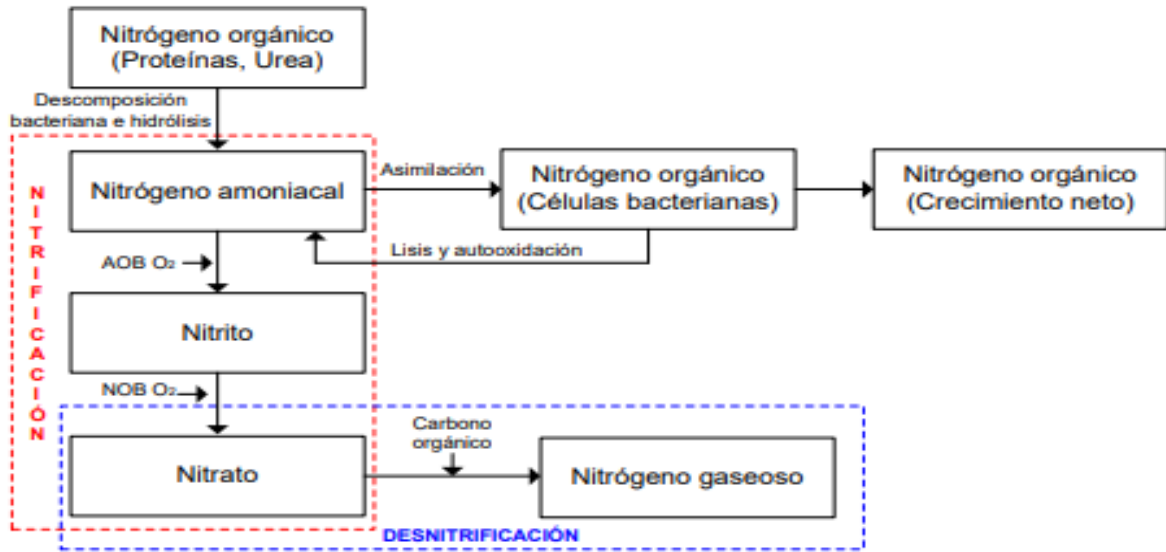


Figura 2. Transformación del Nitrógeno en los Procesos de Tratamiento Biológico

Fuente: Metcalf & Eddy (1995)

4.5.3. Sólidos en Suspensión

Los sólidos en suspensión son eliminados de una manera muy efectiva en los humedales artificiales, ocurriendo en los 5 primeros metros de distancia desde la entrada y consiguiendo siempre valores de salida inferiores a 20 mg/L (Lahora, 2015). Esto se debe a que la mayoría de los sólidos en suspensión están compuestos por materia orgánica y microorganismos los cuales se eliminan por medio de la filtración a través del suelo y de las plantas acuáticas.

4.5.4. Eliminación de DBO₅

La eliminación de la DBO₅ particulado ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de las partículas en los espacios entre la grava y las raíces. La DBO₅ soluble es eliminada por los microorganismos presentes raíces de las plantas los cuales se encargan de llevar a cabo de degradación bacteriana. (Lahora, 2015). Reduciendo así la concentración de materia orgánica presente en el agua residual.

4.6. Funciones de las Macrófitas en los Mecanismos de Remoción

Las macrófitas acuáticas tienen una gran importancia en el tratamiento de aguas residuales, ya que por medio de ellas y de los procesos que se generan en los humedales artificiales, se logran eficiencias de remoción óptimas de contaminantes entre los cuales se destacan la materia orgánica, los sólidos suspendidos y los nutrientes. Delgadillo et al. (2010) dice que las macrófita tienen propiedades esenciales entre las cuales se destacan los efectos físicos como la estabilización de la superficie de los humedales construidos y la prevención de taponamientos del sustrato, siendo así los humedales una buena fuente de filtración física y además son adecuados para tener una superficie apropiada para el crecimiento microbiano. Con esto se permite a las raíces llevar a cabo los procesos de remoción de contaminantes presentes en Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD).

Tal como define la Convención de Ramsar (2013) los humedales son las extensiones de superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Los humedales pueden tener procedencia de ríos, de la lluvia, de mares, de lagos entre otros, los cuales son aptos para el crecimiento, la presencia y el desarrollo de una gran biodiversidad de ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres. Rodríguez R, Ortiz Muñoz, Navarro Chaparro, Espinosa García, & Hernández Montaña (2006) afirman que hoy en día los humedales son no sólo una fuente para la vida animal, sino también para la vida humana ya que en ellos se lleva a cabo la productividad primaria, se brindan servicios ecosistémicos y mitigar el cambio climático.

4.6.1. Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son conocidos como sistemas de fitodepuración de aguas residuales, su sistema se constituye en el desarrollo de un cultivo de macrófita acuáticas sobre un lecho de grava impermeabilizado o en flotación (Ruiz et al., 2017). Donde la planta es la encargada de inyectar grandes cantidades de oxígeno desde la atmósfera hacia sus raíces permitiendo que se den condiciones aeróbicas las cuales favorecen la degradación de los contaminantes por medio de las bacterias que están presentes en las raíces de la planta. Curt Fernández de la Mora (2014) dice que los humedales artificiales han tomado importancia, a raíz de que son creados por el hombre para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales por medio de sistemas biológicos, estos sistemas se basan en un canal de poca profundidad y en él se siembran las plantas acuáticas las cuales son la base fundamental del proceso de fitodepuración.

5. Artículos Trabajados

Para llevar a cabo la elaboración de la presente monografía se realizó la selección de ocho investigaciones, siendo su tema principal el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD) por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*). Las cuatro primeras investigaciones corresponden a la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD), y las cuatro investigaciones restantes corresponden a la fitodepuración de Aguas Residuales No Domésticas (ARnD) por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*).

5.1. Artículos de Aguas Residuales Domésticas

Dentro de la evaluación de la eficiencia del Jacinto De Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Agua Residual Doméstica (ARD) se revisó cuatro artículos describiendo a continuación las metodologías y los resultados obtenidos en cada sistema de tratamiento.

5.1.1. Artículo 1

Efectos de eisenia foetida y eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos.

Autores: Lissette Vizcaíno Mendoza y Natalia Fuentes Molina.

En este estudio se evaluó a escala de laboratorio, el efecto del tratamiento con *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes*, sobre la remoción de materia orgánica, nutrientes y de patógenos. La investigación se desarrolló durante un tiempo de 45 días, el sistema se llevó a cabo aplicando dos tratamientos individuales T₁ empleando un biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical, para las pruebas con *E. foetida* y T₂ un sistema de flujo horizontal con plantas flotantes (*Eichhornia Crassipes*) un tercer tratamiento T₃ consistió en analizar la capacidad combinada de las dos especies, convirtiendo las unidades en un sistema en serie biofiltro flujo vertical (lombrifiltro) –

biofiltro flujo horizontal (sistema con plantas flotantes). En total, se analizaron 30 muestras, 10 para cada tratamiento.

El humedal artificial de flujo libre se diseñó con una longitud de 0,9 m, un diámetro de 0,60 m y una profundidad de 0,40 m, un caudal de alimentación de 0,020 L/min y un tiempo de retención 24 h, de acuerdo con lo recomendado por Rodríguez et al. (2010). Los ejemplares de *E. crassipes* se recolectaron del tramo del Río Ranchería, que bordea las instalaciones de la Universidad de La Guajira, Sede Fonseca, se sembraron con una densidad de seis plantas por metro cuadrado, que se aclimataron durante un mes, con agua residual del sistema de alcantarillado del municipio de San Juan del César, La Guajira, a temperatura promedio de 28,3°C. Los experimentos, se realizaron durante el periodo comprendido entre el 15 de marzo al 30 de abril de 2015, tiempo en el que se analizó el efecto de cada tratamiento, sobre las variables objeto de estudio: materia orgánica medida como: Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), nutrientes expresados en términos de las concentraciones de Nitrógeno Total y Fosfatos, patógenos medidos como coliformes totales y *E. coli*; temperatura, Oxígeno Disuelto (OD) y pH. Las variables, se analizaron de acuerdo con los métodos estándar APHA AWWA-WPCF, (2005).

5.1.2. Artículo 2

Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia).

Autores: Yoma Isabel Mendoza Guerra, Fernando Luis Castro Echavez, Julio César Marín Leal, Elisabeth Hedwig Behling Quintero.

En esta investigación se implementó un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio como alternativa de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Riohacha (Colombia) integrado por seis unidades operadas a flujo semicontinuo y con un TRH de 7 días teniendo tasas de renovación del 75%, 50% y 25% de agua residual, por ejemplo para la tasa de renovación¹ del 75% cada 7 días se extraían 22,5 L de efluente tratado y se reponen con agua cruda. Cada fase experimental se extendió por un periodo de 75 días para un tiempo total de 225 días.

El diseño de las unidades de tratamiento se basó en la composición y dimensionamiento sugerido por Reed et al. (1995) las cuales estuvieron conformadas por cubetas de vidrio de: 0,25 m de ancho, 0,75 m de largo y 0,45 m de profundidad y el volumen de 0,084 m³, para los ensayos se emplearon 6 unidades (Cubetas de Vidrio) de las cuales 3 unidades estuvieron provistas con agua cruda (30 L) y 15 plantas adultas de *E. crassipes* (cobertura completa de la superficie de la unidad experimental). Las 3 unidades restantes sirvieron como control (30 L de efluente sin plantas). Las unidades operaron a un flujo semicontinuo, se monitorean los siguientes parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos: pH, oxígeno disuelto, amonio ortofosfatos, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y coliformes fecales.

5.1.3. Artículo 3

Phytoremediation of Domestic Wastewater Using Eichhornia Crassipes

Autores: Alireza Valipour, V. Kalyan Raman y V.S Ghole.

La presente investigación se llevó a cabo a escala de laboratorio utilizando el sistema de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) de estanque poco profundo se recogieron muestras de la entrada y la salida del reactor todas las mañanas a las 10 a.m. Con un tiempo óptimo de retención

¹Es la alimentación que se realiza al sistema del agua residual cruda y agua residual tratada.

hidráulica (TRH) de 21 h los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados fueron la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), los sólidos disueltos totales (SDT), los sólidos suspendidos totales (SST), el nitrógeno amoniacal (NH₃-N), el Fósforo (PO₄-P), y los Coliformes Fecales (CF). Se configuró y funcionó un reactor a escala de laboratorio (sistema de Jacinto de agua de estanques poco profundos) entre noviembre de 2006 y abril de 2008 que abarcaba diferentes estaciones, como lo son el invierno, verano y monzón, en las instalaciones del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Pune-India. La planta piloto tiene tres secciones principales: La primera un tanque de almacenamiento de aguas residuales con una capacidad 55 Litros, La segunda un tanque de carga constante para mantener un caudal constante con una capacidad 15 Litros y Tercero un reactor de planta piloto el cual es un tanque circular de 24 Litros de volumen con un volumen vacío de 20 Litros en presencia de vegetación (*Eichhornia Crassipes*), el sistema de tratamiento se manejó con un tiempo de retención hidráulico óptimo de 21 horas. El Jacinto de agua se recogió de un lago local para la siembra inicial en la unidad de laboratorio, los experimentos se realizaron después de la aclimatación de las plantas la cual duró un periodo de 45 días, las plantas estuvieron en exposición a las aguas residuales a partir de 25% de la concentración para aumentar gradualmente la concentración a 100%.

5.1.4. Artículo 4

Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia Crassipes, Nymphoides humboldtiana y Nasturtium officinale.

Autores: Rosmery Yakelini Ayala Tocto, Edith Calderón Ordoñez, Jesús Rascón, Víctor Hugo Gómez Ramírez, Roicer Collazos Silva¹.

En la presente investigación se implementó un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio o piloto con la finalidad de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las especies *Eichhornia Crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*, los sistemas pilotos se instalaron en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en el distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas-Perú.

El agua residual se recolectó a 1 km de la quebrada de Santa Lucía, esta quebrada se encuentra contaminada debido a que las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chachapoyas desembocan allí. Se instalaron 4 sistemas de tratamiento de flujo discontinuo o también llamados por tandas, constituidos por un estanque para cada sistema, el cual simula a una laguna pequeña con agua estancada, en estos sistemas se cultivaron las plantas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ninfoides sudamericana (*Nymphoides humboldtiana*), berro de agua (*Nasturtium officinale*), el cuarto sistema consistió en un estanque sin plantas acuáticas al que se le llamó sistema de control o testigo. Se utilizaron recipientes de plástico (baldes) para ubicar los 4 sistemas de tratamiento con cuatro repeticiones, estos fueron acondicionados colocando en la parte baja del estanque 2,7 cm de arena, seguido de 10 cm de piedra y finalmente 5 cm de tierra abonada.

Cada 15 días, por cuatro veces, se realizó un muestreo para analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos como: pH, turbidez, sólidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y fecales, todo se llevó a cabo por un período de 8 semanas. Los resultados obtenidos se analizaron con el software estadístico R x64 3.4.1, se realizó un análisis de varianza a todos los tratamientos y se procedió a realizar la prueba de Duncan, para realizar comparaciones múltiples entre las variables.

5.2. Artículos de Aguas Residuales no Domésticas

Dentro de la evaluación de la Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Agua Residual No Doméstica (ARnD) se estudiaron cuatro investigaciones, las cuales son descritas a continuación.

5.2.1. Artículo 1

Ensayos de eficiencia con macrófita para la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la laguna de Fúquene.

Autores: Luís Francisco Rodríguez R, Yoldi Dalila Ortiz Muñoz, Hernando Navarro Chaparro, Helmut Espinosa García, Vilma Hernández Montaña.

En esta investigación se llevó a cabo un ensayo a escala piloto realizado en dos fases, en la primera fase se realizó la caracterización de las aguas residuales de dos hatos lecheros “Palermo” y “Las Delicias” ubicados en el municipio de Susa (Cundinamarca), subsector de la laguna de Fúquene. El hato lechero “Las Delicias” se determinó como el vertimiento más crítico, usando sus residuos líquidos orgánicos para alimentar el sistema de humedales artificiales implementando en la segunda fase, se evaluaron a escala piloto los porcentajes de remoción de materia orgánica y nutrientes tales como DBO₅, DQO, NO₃, PO₄ y SST. El modelo estadístico aplicado fue un diseño por bloques completamente aleatorizados, con tres tratamientos y un testigo absoluto, las especies que se utilizaron fueron el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), la Hoja Flotante (*Limnobium Laevigatum*) y la Enea (*Typha Domingensis*), las cuales fueron extraídas de la Laguna de Fúquene, en la desembocadura del río Ubaté, las plantas del Jacinto de Agua se recolectaron de etapa de crecimiento temprana utilizando 10 plantas de *Eichhornia Crassipes*, con 4 hojas y un diámetro de 2 cm. La temperatura promedio del Hato las Delicias es de 14.94°C.

Para el ensayo se siguieron los parámetros de diseño para una unidad de flujo horizontal, el sistema hidráulico de la planta piloto funcionaba por gravedad con un tanque de almacenamiento (Volumen de 220 Litros), se tenía un canal de zinc distribuir del caudal, todo el sistema estaba interconectado por una manguera de ½”, el caudal se mantuvo utilizando válvulas de paso, calibradas durante múltiples ensayos antes de puesta en marcha el experimento. El agua residual fue recolectada de la caja de inspección antes de llegar al pozo estercolero evitando que se mezclara con vertimientos anteriores y posteriormente se transportó desde el lugar de origen Hato Las Delicias hasta el lugar de ensayo construido en la sede del vivero de la Universidad Distrital de Bogotá. Se determinó un tiempo de retención hidráulica de 15 días, previo al llenado del tanque de almacenamiento se tomaban muestras de las unidades experimentales cada 15 días por tres meses para una duración total del estudio de 90 días.

5.2.2. Artículo 2

Assessing water hyacinth (eichhornia crassipes) and lettuce (pistia stratiotes) effectiveness in aquaculture wastewater treatment.

Autores: C. O. Akinbile y Mohd S. Yusoff.

El presente estudio fue llevado a cabo en la granja de peces en Semanggol Perak, Malasia, la cual es la principal proveedora comercial de peces de categoría Ikan Keli (pez gato), Ikan Puyu (perca trepadora), Ikan Patin (bagre de río), Ikan Ketutu (pez gobio) e Ikan Lee Koh (carpa común). Los peces fueron criados en estanques de tierra, lonas o estanques de fibra de diferentes dimensiones. El agua utilizada en la granja de peces era del sistema público de suministro de agua y del río. La granja de peces produce más de 50.000 peces por mes para exportar a lugares como Kelantan, Johor y Pahang, todas las principales ciudades de Malasia.

Las aguas residuales de la acuicultura en bruto se recogieron de la granja, se almacenaron, trataron y prepararon a 4 ° C de acuerdo con el procedimiento de los Métodos estándar para el examen aguas residuales APHA (1992). Se recogieron sesenta y cinco (65) litros de aguas residuales de los estanques de las granjas y se llevaron a cabo análisis cualitativos para determinar la composición de los parámetros que incluyeron el: pH, turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amoníaco (NH_3) y nitrógeno Kjeldahl total (TKN). Estos se determinaron dentro de las 24 horas posteriores a la recolección de muestras. La caracterización de las muestras de agua de la acuicultura se llevó a cabo antes de comenzar los experimentos. Además, se establecieron sistemas de cultivo hidropónico (cultivo de agua) que consisten en recipientes de crecimiento de plástico de (25,85 cm de diámetro y 30 cm de alto) basados en el método adoptado por Pan et al. (2007). Los seis contenedores de plástico se colocaron en dos líneas, cada línea con tres contenedores cada una, que estaban compuestos del siguiente modo: el primero con la muestra de agua residual, el segundo con la muestra de agua residual más aireación, el tercero con Jacinto de Agua y agua residual, el cuarto con Jacinto de Agua, la muestra de agua residual más aireación, el quinto con la lechuga de agua y la muestra de agua residual y en el sexto la lechuga de agua, la muestra de agua residual más aireación. Cada uno de los contenedores contenía 10 litros de agua residual y se agregaron con pesos frescos de 150 ± 20 gramos de *Eichhornia crassipes* y 50 ± 10 gramos de plantas *Pistia stratiotes*, respectivamente, estos estaban cubiertos con poliestireno para reducir la probabilidad de contaminación por aguas lluvias y por otros microorganismos presentes en el aire. No se agregaron nuevas aguas residuales a los recipientes de crecimiento durante el experimento para poder identificar el patrón de reducción de contaminantes, el estudio se llevó a cabo durante 4 semanas para un total de 30

días de experimentación. Las plantas acuáticas, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* se obtuvieron de especímenes naturales cultivados en desagües de Nibong Tebal (ciudad de Malasia).

5.2.3. Artículo 3

Biofilter efficiency of Eichhornia Crassipes in wastewater treatment of fish farming in Amazonia.

Autores: MA Leite Rubim, PR Isolino Sampaio, P Parolin.

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la macrófita acuática del Amazonas *Eichhornia Crassipes* como biofiltro para el tratamiento de efluentes resultados de la producción de pescado familiar. El experimento se llevó a cabo en el Instituto de Investigación del Amazonas (INPA) Manaus, Brasil, el sistema consistió en un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos cada uno con tres repeticiones T_1 = cobertura vegetal 100%, T_2 = cobertura vegetal 75%, T_3 = cobertura vegetal 50% y T_4 = Sin cobertura vegetal 0%. La biomasa de peso fresco de la *Eichhornia Crassipes* correspondiente para cada tratamiento fue de $T_1= 9.60 \pm 0.56$ kg; $T_2= 7.20 \pm 0.42$; $T_3= 4.80 \pm 0.28$ kg; $T_4= 0$ kg. El vivero cubrió un área de 144m^2 , cuyo efluente era drenado y distribuido al sistema de biofiltro a través de tuberías de PVC de 25 mm.

Las macrófita se recolectaron en un entorno natural protegido en el municipio de Manacapuru, Amazonas, Brasil, y se transportaron al sitio del experimento en cubos de plástico. Se recolectaron individuos jóvenes de *E. crassipes*. Las unidades experimentales estaban compuestas por tanques de fibra de vidrio (3,7 x 0,45 m y 0,20 m de altura). El período de retención de efluentes en cada tanque fue de 24 horas.

Se midieron diferentes variables en los tratamientos con diferentes coberturas vegetales las cuales fueron: el nitrito (NO_2), el fosfato (PO_4^{3-}), el Fósforo total (TP), la turbidez (UNT) y la conductividad eléctrica (CE). Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de Tukey para comparar promedios de variables físicas y químicas entre tratamientos, utilizando un nivel de significancia del 5% ($p = 0.05$). Las pruebas se llevaron a cabo utilizando el programa estadístico ASSISTAT 7.5 versión beta. Finalmente se determinó que una cobertura del 50% es suficiente para obtener una buena eficiencia de remoción de los contaminantes.

5.2.4. Artículo 4

Performance of a water hyacinth (eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed

Autores: LU Jianbo, FU Zhihui, YIN Zhaozheng.

La investigación se llevó a cabo en la granja de huevos y patos de Lihong Poultry Ltd. En el condado de Deking provincia de Zhejiang-China, el objetivo del estudio era evaluar el papel del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) en la purificación de las aguas residuales de la cría intensiva de aves de corral (patos) las cuales son ricas en nutrientes. La superficie de la granja es de un total es de 53.360 m^2 , de los cuales 13.340 m^2 están cubiertos por agua. Su producción anual de patos con huevos y patos reproductores alcanza los 100.000 y su estiércol se descarga directamente en el estanque donde viven, lo que hace que el agua sea alta en nutrientes y de baja calidad. Las aguas residuales ricas en nutrientes se descargan del estanque a los sistemas fluviales rurales cercanos, causando contaminación ambiental en los ecosistemas locales. Se diseñó un humedal de 688 m^2 en la granja, los jacintos de agua en CW¹ fueron trasplantados de vías fluviales cercanas e inicialmente cubrieron 393 m^2 , aproximadamente el 59% de la

¹ CW: Humedal Construido.

superficie total de agua de CW. Las unidades experimentales estaban compuestas por las siguientes dimensiones (43 m largo, 16 m de ancho y 1,2 m de profundidad, desde el fondo hasta la superficie).

El experimento comenzó el 20 de septiembre de 2005 y tuvo una duración de 40 días. Se recogieron y analizaron muestras de agua del estanque de patos y del CW cada 4 días. Los indicadores analizados incluyeron demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (TP), nitrógeno total (TN), oxígeno disuelto (OD) y transparencia. La DQO se midió por el método del dicromato, la transparencia por un disco Secchi y el OD por una sonda electroquímica. Al medir TP y TN, las muestras de agua se diluyeron primero, y luego se determinó TP por el método espectrofotométrico de molibdato de amonio y TN por el método espectrofotométrico de digestión alcalina con potasio-UV. Los datos fueron analizados por el software SPSS con análisis de varianza unidireccional (ANOVA).

6. Resultados y Discusión

6.1. Análisis de la Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración en Aguas Residuales Domésticas

Dentro de las investigaciones antes mencionadas se encuentran datos que nos permiten determinar la eficiencia de remoción de algunos parámetros cuando se someten a tratamientos con la macrófita acuática Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), a continuación, se presenta la Tabla 1 la cual indica los porcentajes de remoción parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en cada una de las investigaciones en comparación.

Tabla 1. Análisis de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales Domésticas

Artículo	Parámetro	Concentración		% de Remoción	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Autores
		Inicial	Final			
Artículo 1. Efectos de <i>eisenia foetida</i> y <i>eichhornia crassipes</i> en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos	DBO₅ (mg/L)	135	Aprox. 22,00	83,7%	24 h	Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016)
	DQO (mg/L)	228	Aprox. 82,30	63,9%		
	SST (mg/L)	384	Aprox. 0	100%		
	ST (mg/L)	549	Aprox. 196,54	64,2%		
	Turbidez (UNT)	243	Aprox. 44,22	81,8%		
	Col. Totales (NMP/100mL)	5,39x10 ⁷	Aprox. 2,96x10 ⁶	94,5%		
	E. Coli (NMP/100mL)	3,57x10 ⁷	Aprox. 2,10x10 ⁶	94,1%		
	TN (mg/L)	42,6	Aprox. 14,22	66,6%		
	PO₄³⁻ (mg/L)	11,6	Aprox. 9,28	20%		
Artículo 2. Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)	DBO₅ (mg/L)	253,46	21,29	91,6%	7 días	Mendoza Guerra, Castro Echavez, Marín Leal, & Behling Quintero (2016)
	DQO (mg/L)	654,59	39,93	93,9%		
	NH₄⁺ (mg/L)	0,036 ±0,045	0,002	94%		
	PO₄³⁻ (mg/L)	3,042 ±1,540	0,38	87,5%		
	Col. Totales (NMP/100mL)	4,10 x 10 ⁷	2,67x10 ⁴	99,9%		

Artículo	Parámetro	Concentración		% de Remoción	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Autores
		Inicial	Final			
	Col. Fecales (NMP/100mL)	1,74 x10 ⁷ ±2,13x10 ⁷	1,51x10 ³	99,9%		
Artículo 3. <i>Phytoremediation of Domestic Wastewater. Using Eichhornia Crassipes</i>	DBO₅ (mg/L)	222 ±12,04	20,2 ±0,84	90,90%	21 h	Valipour, Kalyan Raman, & Ghole (2011)
	DQO (mg/L)	428,5 ±24,85	81,7 ±4,83	80,93%		
	SDT (mg/L)	450,4 ±49,61	378,4 ±41,70	15,98%		
	SST (mg/L)	151,6 ±6,07	45 ±1,58	70,31%		
	NH₃-N (mg/L)	31,54 ±3,12	8,14 ±0,73	74,19%		
	PO₄-P (mg/L)	7,81 ±0,45	4,59 ±0,27	41,23%		
	Col. Totales (NMP/100 ml)	5,58x10 ⁶ ±2,51x10 ⁶	1,98x10 ⁵ ±8,79x10 ⁴	96,45%		
Artículo 4. <i>Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia Crassipes, Nymphoides humboldtiana y Nasturtium officinale.</i>	DBO₅ (mg/L de O ₂)	71,57	10,93	84,72%	NR	Ayala Tocto, Calderón Ordoñez, Rascón, Gómez Ramírez, & Collazos Silva (2018)
	DQO (mg/L de O ₂)	79,52	12,11	84,77%		
	Col. Totales (NMP/100 mL)	260	21	91,9%		
	Col. Fecales (NMP/100 mL)	258	20	92,2%		
	Turbidez (UNT)	300	33	89%		
	SST (mg/L)	2,57	0.49	80,9%		

NR: No Reporta

En la Tabla 1, se dan a conocer los parámetros físicos, químicos y biológicos que fueron analizados en los estudios, para determinar la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) los cuales fueron la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno (DQO), Amonio (NH₄⁺), Fosfato (PO₄³⁻), Fósforo (PO₄-P), Coliformes totales (CT), Coliformes Fecales (CF), Escherichia Coli (E. Coli), Sólidos totales (ST), turbidez (UNT), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Amoníaco (NH₃-N) y Nitrógeno Total (TN).

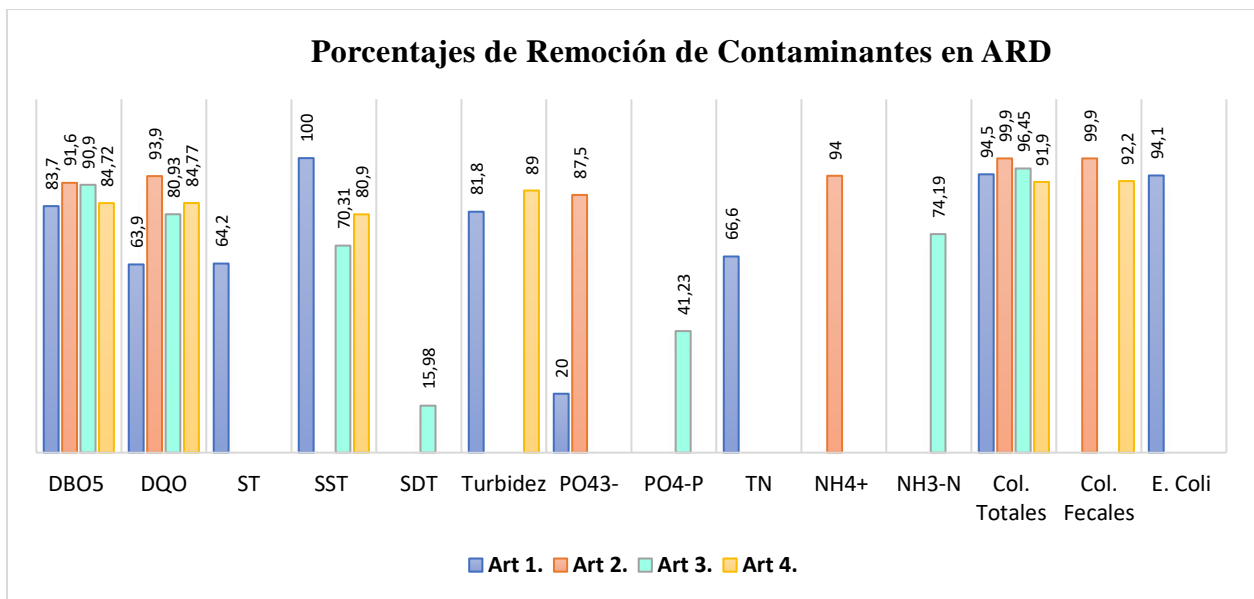


Figura 3. Comparación de Porcentajes de Remoción de Contaminantes en la Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD)

Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno: Con respecto a la Figura 3, se puede determinar que la mayor remoción de la DBO₅ se logró en la investigación llevada a cabo por Mendoza Guerra et al. (2016) quienes obtuvieron una eficiencia de remoción del 91,6% con el tratamiento de aguas residuales domésticas de Riohacha con la *Eichhornia Crassipes*. Metcalf & Eddy (1995) establecen que la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales domésticas brutas se encuentra en un rango de 110 mg/L a 400 mg/L, lo cual concuerda con las concentraciones iniciales de las investigaciones en comparación. Valipour et al. (2011) quienes realizaron una investigación de fitorremediación de aguas residuales domésticas por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) lograron remover el 90,90% de la DBO₅ de las aguas residuales de Pune-India. Bernal Nieves (2015) en su investigación titulada “Evaluación de *Eichhornia Crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del campus de la universidad nacional de Colombia, sede Orinoquia” logró una eficiencia de remoción de 72,12% a los 28 días para la DBO₅ resultado que fue menor comparado con el autor anterior, esto se puede originar debido a que el agua residual de este

sistema ya había recibido un tratamiento previo antes de ingresar al humedal. Ayala et al. (2018) quienes realizaron una investigación de fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia Crassipes*, *Nymphoides Humboldtiana* y *Nasturtium Officinale*, obtuvieron una eficiencia de remoción de 84,72% para la DBO₅ utilizando la *Eichhornia Crassipes*. Resultado que se asimila al obtenido por Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) en su investigación en la cual evaluó, a escala de laboratorio, el efecto del tratamiento con *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes*, sobre la remoción de materia orgánica, nutrientes y de patógenos de efluentes domésticos, obteniendo una eficiencia de remoción 83,7% para la DBO₅ utilizando un tratamiento con *Eichhornia Crassipes*.

Según Vásquez Chingay (2018) en su investigación titulada “Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad César Vallejo Trujillo utilizando Jacinto de agua (*eichhornia crassipes*) en humedales artificiales” obtuvo una eficiencia de remoción del 63,9% para la DBO₅ a los 15 días de iniciación del tratamiento, eficiencia menor comparada con los resultados obtenidos por los autores anteriormente nombrados. Vymazal (2013) afirma que la eliminación de la materia orgánica es llevada a cabo por los microorganismos adheridos al sistema radicular de las plantas y también se remueve una parte por medio de la sedimentación.

Se logra determinar que hubo una buena eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO₅, la cual fuera de los procesos de eliminación anteriormente nombrados, lo que también favoreció la degradación de los contaminantes fue el tiempo de retención hidráulico que se implementó para cada una de las investigaciones, logrando ser este tiempo suficiente para llevar a cabo los procesos de descomposición biológica de los contaminantes presentes en el agua residual doméstica.

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno: Los tratamientos con el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de aguas residuales domésticas, lograron mostrar una buena eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida en función de la DQO. Esto se puede demostrar por medio de los resultados obtenidos por Mendoza Guerra et al. (2016) los cuales lograron una eficiencia de remoción de 93,9% para la DQO. Coronel Castro (2015) en su investigación titulada “Eficiencia del Jacinto de Agua y Lenteja de Agua (Lemma Minor) en el tratamiento de las Aguas Residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas”, lograron una eficiencia de remoción de 93,08% para la DQO, resultado que se asimila al obtenido por el autor anterior. La demanda química de oxígeno es esencial para indicar la concentración de sustancias orgánicas biodegradables y no biodegradables presentes en las aguas residuales. De acuerdo con el estudio realizado por Ayala et al. (2018) en el cual obtuvieron una eficiencia de remoción de 84,77% para la DQO y que basándonos en la eficiencia obtenida por (Valipour et al., 2011) lograron un resultado muy similar, con un 80,93% para la DQO utilizando la *Eichhornia Crassipes*.

Vásquez Chingay (2018) en su investigación titulada “Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad César Vallejo - Trujillo utilizando Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) en humedales artificiales” lograron una eficiencia de remoción del 65,1% para la DQO a los 10 días del tratamiento, resultado que en comparación con el alcanzado con el autor anterior fue menor. Pero eficiencias que comparadas por la obtenida por Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) fueron similares con un porcentaje de remoción del 63,9% para la DQO.

La remoción de la DQO mostró ser eficiente en cada uno de los estudios en mención esto se debe a que raíces del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) son densas y plumosas, y logran proporcionar un sitio adecuado para que se adhieran las bacterias que son las encargadas de

degradar la materia orgánica y de actuar como filtros del material particulado que se encontraba presente en este tipo de agua residual. Lo concuerda con lo expresado por Ghaly, Kamal, & Mahmoud (2005) quien afirma que la DQO disminuye significativamente durante el período de crecimiento porque la raíz de la *Eichhornia Crassipes*, se desarrolla completamente y aumenta la capacidad de filtración de las raíces de los sólidos en suspensión, así como la absorción de nutrientes disueltos.

Remoción de Nitrógeno: El nitrógeno se encontró en los artículos en estudio en forma de nitrógeno total, amonio y de amoníaco, siendo este último también encontrado en las aguas residuales en forma de nitrógeno amoniacal. Queralt (2003) afirma que el nitrógeno amoniacal está presente en las aguas superficiales o profundas y es producido por la desaminación de compuestos que contienen nitrógeno, se caracteriza por ser una ruptura de un grupo de amonio y que es importante a nivel biológico para la degradación de aminoácidos. Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) obtuvieron en su estudio una eficiencia de remoción de 66,6% para el Nitrógeno Total (TN).

Mendoza Guerra et al. (2016) expresa que consiguieron una eficiencia de remoción del 94% para el NH_4 , resultados que se asimilaron a los obtenidos por Valderrama, Campos, Velandia, & Zapata N (2014) en su investigación titulada “Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna sp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas” los cuales obtuvieron una eficiencia de remoción del 95,6% de NH_4 a los 6 días del tratamiento. Las altas eficiencias en la remoción de amonio se deben a la presencia de las plantas que son las encargadas de realizar el proceso de absorción de dicho parámetro. Por otra parte Valipour et al. (2011) en su estudio lograron una eficiencia de remoción del 74,19% para $\text{NH}_3\text{-N}$, esto se debe a que se dio la nitrificación

biológica por medio de la cual los nitrosomas oxidan el amoníaco, en nitrato y finalmente los Nitrobacter reducen el nitrito a nitrato (Metcalf & Eddy , 1995) que es considerado como un parámetro menos tóxicos para los organismos acuáticos.

Remoción de Fósforo: Delgadillo et al. (2010) expresa que el Fósforo está presente en las aguas residuales en forma de ortofosfatos (PO_4^{3-}), polifosfatos (P_2O_7) y formas orgánicas del Fósforo. Esto se puede comprobar con los artículos en estudio, en los cuales encontramos la presencia del Fósforo en forma de (PO_4^{3-}) y ($\text{PO}_4\text{-P}$). Valipour et al. (2011) en su investigación logró una eficiencia de remoción de 41,23% para el $\text{PO}_4\text{-P}$, eficiencia que superar la obtenida por Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) quienes tuvieron una eficiencia de remoción de 20% para el PO_4^{3-} . Uno de los principales mecanismos de eliminación biológica por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) del Fósforo es la absorción siendo retirado este parámetro del agua residual e incorporado a su sistema radicular. Valderrama et. (2014) en su investigación titulada “Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna sp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas” obtuvieron una eficiencia de remoción del 92% de PO_4^{3-} en el día 6 de su tratamiento, eficiencia que fue superior a la obtenida por el autor anterior, esto se origina debido a que el tiempo en días que estuvo en contacto el agua residual doméstica con el sistema de plantas fue mayor lo cual le permitió a las raíces del sistema realizar una remoción significativa de dicho parámetro. Esto se respalda por Gachter & Meyer (1996) quienes afirman que la eliminación del Fósforo de los humedales se lleva a cabo por medio de procesos bióticos que regulan la eliminación de P, los procesos bióticos incluyen (1) absorción por vegetación, perifiton y microbios. (2) mineralización de la hojarasca y Fósforo orgánico del suelo. Caraco, Cole, & Likens (1991) indican que los procesos abióticos para la eliminación del Fósforo de las

aguas residuales incluyen la sedimentación y filtración. Teniendo en cuenta los estudios analizados se observa que hubo presencia de estos procesos abióticos, esto se debe a que las raíces de las plantas proporcionan un ambiente adecuado para que se lleven a cabo estos procesos dentro del sistema.

Remoción de Sólidos Totales: Metcalf & Eddy (1995) afirman que los sólidos totales son una de las características físicas del agua residual y son conocidos por ser la materia que se obtiene como residuo luego de someter al agua a un proceso de evaporación a una temperatura de 103 a 105°C. Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) en su investigación obtuvieron una eficiencia de remoción de 64, 2% para los sólidos totales (ST) y un 100% en la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST). Se puede justificar que hubo una muy buena eficiencia en la remoción de los sólidos suspendidos debido a la baja velocidad de circulación que tiene el agua residual con las raíces del Jacinto de Agua, lo cual favorece la sedimentación y la filtración de dichos contaminantes. Lo cual es corroborado por Brix & Arias (2005) quienes dicen que las raíces de las plantas aumentan la remoción de SST, logrando así la biodegradación de la materia orgánica, acción que es realizada por los microorganismos aerobios que se encuentran en las raíces de las plantas. Ayala et al. (2018) en su investigación lograron una remoción de 80,9% para los SST, eficiencia que fue superior a la obtenida por Valipour et al. (2011) quienes tuvieron una eficiencia de remoción de 70,31% para los SST.

Vásquez Chingay (2018) en su investigación titulada “Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad César Vallejo - Trujillo utilizando Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) en humedales artificiales” logró una eficiencia de remoción del 61,8% SST a los 5 días de tratamiento, remoción que fue menor a la obtenida por el autor anterior. Se puede establecer que los efectos que causan los sólidos suspendidos a los cuerpos de agua son la

interferencia de penetración de la luz solar lo cual también es conocido como la turbiedad, es por ello por lo que es importante remover los sólidos que están presentes en el agua residual por medio de los procesos de sedimentación y filtración para favorecer la transparencia del agua residual.

Remoción de la Turbidez: Como señala Espigares García & Fernández Crehuet (1999) la turbidez es de gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, los cuales dan indicio de contaminación del agua. Ayala et al. (2018) en su investigación lograron una eficiencia de remoción del 89% UNT, resultado que al ser comparado con otros tratamientos como el de Guio Arteaga & Toscano Hernández (2010) que mediante la utilización de la *Eichhornia Crassipes* logró una de remoción del 70% de UNT, fue una eficiencia menor comparada con la obtenida con el autor anterior. Es importante lograr disminuir los niveles de turbidez, esto con el fin de beneficiar los sistemas acuáticos que están presentes en el agua residual. Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) lograron una remoción del 81,8% UNT, remoción que al ser comparada con la obtenida con el autor anterior fue superada. Es importante llevar a cabo la remoción de la turbidez ya que estas pueden afectar el proceso de la depuración de las aguas residuales, disminuyendo la capacidad de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, siendo este uno de los procesos importantes para la depuración de los contaminantes presentes en el agua residuales.

Remoción de los Coliformes Totales: Los coliformes son bacterias provenientes del tracto gastrointestinal de los seres vivos con sangre caliente y se encuentran normalmente en el suelo, las plantas y los animales. Mendoza Guerra et al. (2016) en su investigación lograron una remoción de 3 unidades logarítmicas NMP/100 ml. Los coliformes totales son bacterias aerobias y anaerobias, las cuales su reproducción es favorecida por condiciones adecuadas de

temperatura, materia orgánica, pH y la humedad (Cortés Martínez , y otros, 2011). De acuerdo con los resultados obtenidos por Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) y Valipour et al. (2011) lograron eficiencias de remoción en cada estudio de 1 unidad logarítmica NMP/100 ml utilizando el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Resultados que al ser comparados con los obtenidos por Nuñez Morales (2019) fueron similares al obtener una eficiencia de remoción de 1 unidad logarítmica NMP/100 ml, gracias al proceso de rizofiltración que realizó la *Eichhornia Crassipes*. La rizofiltración es una técnica de fitorremediación que utiliza las raíces de las plantas para descontaminar el agua residual. La disminución de los coliformes en las aguas residuales domésticas se da debido a que la *Eichhornia Crassipes* tienen un sistema radicular que posee una superficie de absorción para las bacterias y además se generan los procesos de sedimentación y filtración que favorecen su degradación.

Remoción de los Coliformes Fecales: Delgadillo et al. (2010) dice que los coliformes fecales son bacterias aerobias y anaerobias que están presentes en las heces humanas y que en un 90% a 100% corresponden a *Escherichia Coli* (*E. Coli*). Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) en su investigación lograron una eficiencia de remoción de 1 unidad logarítmica de NMP/100 ml de *E. Coli*. Mendoza Guerra et al. (2016) y Valipour et al. (2011) obtuvieron en sus investigaciones unas eficiencias de remoción de 3 y 1 unidad logarítmica de NMP/100 ml respectivamente. Los coliformes fecales y el *E. Coli* son procedentes especialmente de las heces de animales y humanos de sangre caliente, por ello se debe prestar especial ya que algunos coliformes se pueden reproducir mejor en contacto con el agua residual, es por ello por lo que es un buen índice la contaminación fecal. Se debe tener en cuenta que los mecanismos de eliminación más frecuentes de microorganismos patógenos son la sedimentación, filtración y

absorción (Wu, Carvalho, muller, Manoj, & Dong, 2016). Es por ello por lo que se establece que el tratamiento de aguas residuales domésticas por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) logró ser eficiente en la remoción de coliformes.

6.2. Análisis de la Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración en Aguas Residuales no Domésticas

Para la selección de los artículos a trabajar para las Aguas Residuales No Domésticas se realizó un enfoque hacia la parte agropecuaria, eligiendo estudios realizados a nivel nacional e internacional que estuvieran relacionados con la fitodepuración de aguas residuales provenientes de dichas actividades de producción y comercialización.

Para determinar la eficiencia que tuvo el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), los parámetros fisicoquímicos que fueron analizados en los estudios fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Amonio (NH₄⁺), Fosfato (PO₄³⁻), Sólidos totales (ST) , turbidez (UNT), nitrato (NO₃), Nitrito (NO₂), Fosfato (PO₄), Fósforo Total (TP), Conductividad Eléctrica (CE) y Nitrógeno Total de Kjeldahl (NTK). Los cuales se encuentran plasmados en la Tabla 2, la cual indica las eficiencias de remoción de cada uno de los parámetros en análisis, dentro de las investigaciones en comparación.

Tabla 2. Análisis de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales no Domésticas

Artículo	Parámetro	Concentración		% de Remoción	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Autores
		Inicial	Final			
Artículo 1. Ensayos de eficiencia con macrófita para la remoción de cargas contaminantes en	DBO ₅ (ppm)	408,21	140,71	65.53%	15 días	Rodríguez R et al. (2006)
	DQO (ppm)	522,41	272,8	47,78%		
	NO ₃ (ppm)	4,40	2,2	50%		

Artículo	Parámetro	Concentración		% de Remoción	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Autores
		Inicial	Final			
<i>aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la laguna de Fúquene</i>	PO₄ (ppm)	12,94	8,28	36,01%		
	ST (ppm)	154,61	72,9	52,85%		
<i>Artículo 2. Assessing water hyacinth (eichhornia crassipes) and lettuce (pistia stratiotes) effectiveness in aquaculture wastewater treatment</i>	DQO (mg/L)	205	Aprox. 84	59,02%	NR	Akinbile & Yusoff (2012)
	NTK¹ (mg/L)	12,54	1,74	85,71%		
	NO₃ (mg/L)	30,17	Aprox. 3,068	89,83%		
	NO₂ (mg/L)	25	11,33	54,67%		
	NH₃ (mg/L)	9,45	Aprox. 1,44	84,76%		
	PO₄³⁻ (mg/L)	32,5	7	78,46%		
	Turbidez (NTU)	24,2	Aprox. 10,99	54,55%		
<i>Artículo 3. Biofilter efficiency of Eichhornia Crassipes in wastewater treatment of fish tarming in Amazonia</i>	NO₂ (mg/L)	0.126 ± 0.014	0,019 ± 0,013	86,8%	24 horas	Mal, Sampaio, & Parolin (2015)
	PO₄³⁻ (mg/L)	0,047 ± 0,013	0,010 ± 0,003	77,8%		
	TP (mg/L)	0.063 ± 0.016	0,019 ± 0,004	69%		
	Turbidez (NTU)	8.80 ± 5.52	1,36 ± 0,83	84,5%		
	CE (μ/S/cm)	41.47 ± 24.78	11,52 ± 5,58	73,3%		
<i>Artículo 4. Performance of a water hyacinth (eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed</i>	DQO (mg/L)	270	96	64,44%	NR	Jianbo, Zhihui, & Zhaozheng (2008)
	TP (mg/L)	8,86	6,82	23,02%		
	TN (mg/L)	12,72	9,95	21,78%		

NR: No Reporta

¹ NTK: Nitrógeno total Kjeldahl

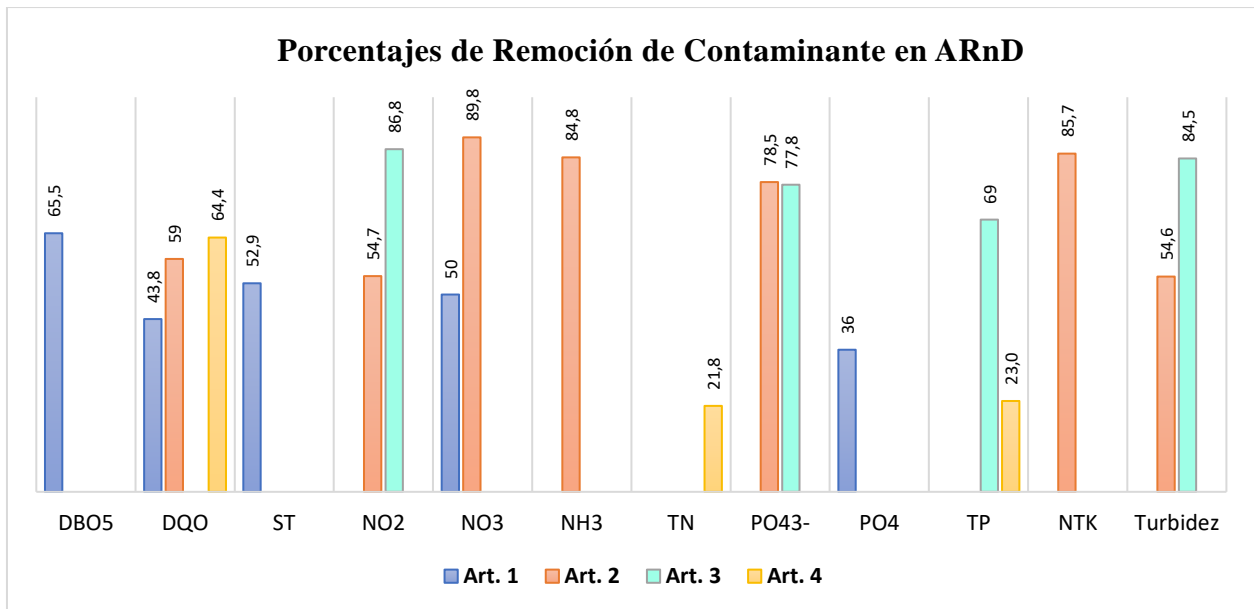


Figura 4. Comparación de Porcentajes de Remoción de Contaminantes en la Fitodepuración de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)

Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): En base a la Figura 4 y de acuerdo con Rodríguez R et al. (2006) en su investigación de eficiencia con la macrófita (*Eichhornia Crassipes*) para la remoción de carga contaminante en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la Laguna de Fúquene obtuvieron un porcentaje de remoción del 65,53% para la DBO₅. Delgadillo et al. (2010) afirman que la remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente a la biodegradación aeróbica y anaeróbica de los microorganismos que se encuentran presentes en las raíces de la planta acuática. Es evidente que se consiguió una buena remoción de materia orgánica por medio de los procesos anteriormente nombrados, pero también gracias a la sedimentación y filtración de la materia orgánica que se fija a los sólidos que se encuentran en suspensión en el agua residual, esto demuestra que la planta acuática es imprescindible para llevar a cabo los procesos de degradación físicos, químicos y biológicos de los contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual. La presencia de este parámetro se origina debido a la acumulación de residuos al interior del estanque, y se debe tener en cuenta que estos efluentes son ricos en material en suspensión, materia orgánica y nutrientes

(Stewart , Boardman, & Helfrich, 2006). Por ello es importante llevar a cabo la fitodepuración de este tipo de aguas residuales por medio de esta planta acuática, con el fin de lograr que se reducen las concentraciones de estos contaminantes y se minimicen los impactos negativos al ecosistema al cual posteriormente serán vertidos estos efluentes.

Remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO): Para la remoción de la DQO se puede apreciar que la mayor eficiencia se logró por Jianbo et al. (2008) en su investigación que tenía como objetivo evaluar el papel del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) en la purificación de las aguas residuales de la cría intensiva de aves de corral (patos), los cuales lograron una eficiencia de remoción del 64,44% para la DQO. Este parámetro es un indicador de la concentración orgánica en ARD y ARnD. Akinbile & Yusoff (2012) realizaron una investigación que evaluaba la eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en el tratamiento de aguas residuales de la acuicultura en el cual lograron obtener eficiencias de remoción con la *Eichhornia Crassipes* de 59,02% para la DQO, resultados que superan los obtenidos por Tuesta Flores (2016) en su investigación titulada “Evaluación de las especies *Lemna minor* L. (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* M. (Jacinto de agua) en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014” el cual consistía en un sistema de tratamiento continuo, en el que obtuvieron una eficiencia de remoción con la *Eichhornia Crassipes* de 19,85% para la DQO. Es importante tener en cuenta que, en un sistema de tratamiento continuo, el agua residual está entrando y saliendo del sistema todo el tiempo, pero en flujos controlados o pequeños. Finalmente, de acuerdo con Rodríguez R et al. (2006) en su investigación para tratamiento de aguas residuales de hatos lecheros del Subsector de Fúquene por medio del Jacinto de Agua lograron una remoción del 47,78% para la DQO. Resultados que se asimilan a los obtenidos por Jiang &

Xinyuan (1998) que lograron una remoción del 44% de la DQO de las aguas residuales del zoológico de Beijing por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*). La demanda química de oxígeno tuvo una buena eficiencia de remoción ya que la *Eichhornia Crassipes* tiene la capacidad de degradar grandes cantidades de materia orgánica por medio de la sedimentación, filtración y degradación biológica por medio de los microorganismos que están asociados a su sistema radicular.

Remoción de Nitrógeno (N): Metcalf & Eddy (1995) afirman que el contenido de total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. Akinbile & Yusoff (2012) en su investigación logró identificar la mayor cantidad de nitrógeno presente en sus distintas formas logrando eficiencias de remoción para el NH_3 del 89,83% siendo el contaminante en que mayor porcentaje se removió de los artículos en comparación, los mismos autores lograron una remoción del 54,67% para la NO_2 resultado que fue menor en comparación al obtenido por Mal et al. (2015) en su investigación en la cual removió el 86,8% NO_2 . La concentración de nitratos en efluentes de aguas residuales puede variar entre 0 y 20 mg/L en forma de Nitrógeno con valores típicos entre 15 y 20 mg/L (Metcalf & Eddy, 1995). En cuanto al Nitrógeno total de Kjeldahl (NTK) se logró una remoción de 85,71% en el estudio realizado por Akinbile & Yusoff (2012) eficiencia de remoción que puede atribuirse al tiempo de contacto que estuvo el agua residual con el sistema biológico lo cual permitió que se llevara a cabo de manera correcta el proceso de nitrificación-desnitrificación. El nitrógeno total de Kjeldahl incluye el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal. Por otro lado, estos mismos autores lograron una remoción de 84,76% para el NH_3 . En el agua residual el nitrógeno puede estar presente en diferentes formas y también son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos de tratamiento, por medio de estas transformaciones se puede convertir el

nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables del agua residual (Metcalf & Eddy, 1995). El propósito principal de los tratamientos con plantas acuáticas es la conversión de amoníaco a nitrito y de nitrito a nitrato, ya que el amoníaco es un compuesto tóxico, a diferencia del nitrito que es un compuesto menos tóxico para los ecosistemas acuáticos.

Remoción de Fósforo: Tal como afirma Ávila Naranjo, Castillo Quiñonez, & Zárate Enríquez (2000) las formas más habituales en las que se encuentra el Fósforo en las aguas residuales son en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico, el mecanismo de eliminación del Fósforo en los humedales artificiales es por medio de la adsorción, precipitación química y la acción de los microorganismos que utilizan el Fósforo para la síntesis celular. El Fósforo se encontró en forma de fosfato en las investigaciones realizadas por Akinbile & Yusoff (2012) y Mal, Sampaio, & Parolin (2015) los cuales lograron eficiencia de remociones de 78,46% y 77,8% de PO_4^{3-} respectivamente. La eficiencia de remoción del TP en la investigación realizada por Mal, Sampaio, & Parolin (2015) y Jianbo et al. (2008) fueron de 69% y 23,02% respectivamente. Gentelini (2007) en su investigación titulada “Tratamiento de Efluente de Piscicultura Orgánica utilizando macrófita acuáticas *Eichhornia crassipes*. (Mart.Solms) e *Egeria densa* (Planchon)” obtuvieron eficiencias de remoción de hasta el 43,42% para TP utilizando el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), eficiencia que superó la obtenida por (Jianbo et al., 2008).

Remoción de Sólidos Totales: En la investigación realizada por Rodríguez R et al. (2006) se logra evidenciar una eficiencia de remoción del 52, 85% de los ST. Los sólidos totales incluyen Sólidos suspendidos que son partículas menores a $1.2\ \mu\text{m}$ los cuales están conformados por limos, arcillas, materia orgánica entre otros. Y también Sólidos disueltos que son los que quedan luego del secado de la muestra de agua a una temperatura de 103°C a 105°C y que tienen una

partículas mayores a 1.2 μm , los cuales constituyen los iones insolubles en el agua cuyos principales cationes y aniones son K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 Y CO_3 (Metcalf & Eddy , 1995). Estas son consideradas como sales que se incorporan al agua a través de la atmósfera por medio de lluvias o escorrentía. Giraldo Gómez (1995) afirma que los sólidos totales se depuran del agua residual por medio de la sedimentación y filtración. Esto se logra gracias a que las raíces de la planta reducen la velocidad de paso del agua residual favoreciendo que se lleven a cabo los procesos anteriormente mencionados.

Remoción de Turbidez: Ospina Zuñiga, García Cobas, Gordillo Rivera, & Tovar Hernández (2016) señalan que la turbidez o turbiedad de una muestra de agua, indica la medida de la pérdida de la transparencia del agua, la cual es causada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua. Este parámetro impacta los ecosistemas acuáticos por la dispersión solar y por la reducción de la concentración del oxígeno, lo cual afecta la fotosíntesis y la respiración de la vida acuática. Akinbile & Yusoff (2012) en su investigación obtuvieron una eficiencia de remoción del 54,55% de UNT, eficiencias que en comparación con las obtenidas por Tuesta Flores (2016) en su investigación para la remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas, son menores con una remoción del 40,37% UNT para el sistema continuo plantado con la *Eichhornia Crassipes*. Akinbile & Yusoff (2012) en su investigación para evaluar el papel del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) en la purificación de las aguas residuales de la cría intensiva de aves de corral (patos) obtuvieron una eficiencia de remoción del 84,5% para la UNT, eficiencia que superó la obtenida por el autor anterior, y la cual se puede atribuir a la degradación de las partículas en suspensión y del material coloidal.

Para finalizar, el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) mejoro la calidad de cada uno de los efluentes que fueron tratados, tanto a nivel doméstico como no doméstico. Según (Qiu , y otros,

2001) lograron determinar que la calidad del agua de los lagos mejoraba notoriamente después de la introducción de las macrófita acuáticas. Esto se debe a la capacidad que tiene el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) para adaptarse a aguas residuales las cuales poseen altas concentraciones de compuestos orgánicos e inorgánicos. Lo cual se corrobora por Portielje & Roijackers (1995) quienes estudiaron la composición de especies de comunidades macrófita antes distintos niveles de concentración de nutrientes en las aguas servidas domiciliarias, y encontraron una correlación positiva entre la carga de nutrientes, especialmente N y P y la tasa de sucesión primaria. Gustavo G, M Camargo, & M Pezzato (2008) afirma que los mecanismos primarios que tienen lugar para la depuración de los contaminantes por medio de las macrófita flotantes son la filtración, sedimentación de sólidos, incorporación de nutrientes en las plantas y finalmente la degradación de la materia orgánica por medio de los microorganismos que están asociados a las raíces de la planta. Esto se da debido a que durante la etapa de crecimiento el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) logra absorber e incorporar los nutrientes que necesita a su estructura, lo cual sirve de base para las bacterias, que son las encargadas de eliminar los nutrientes por medio de la nitrificación y desnitrificación. Delgadillo Zurita & Condori Carrasco (2010) expresan que la principal ventaja del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) es la gran superficie de contacto que tienen las raíces de la planta con el agua residual, lo que les permite llevar a cabo una gran actividad depuradora de la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos a dicha superficie o por las propias raíces directamente. Martelo & Lara Botero (2012) dicen que el uso de las macrófita flotantes ha demostrado eficiencias de remoción significativamente altas en todos los constituyentes de las aguas residuales, una importante cantidad de especies han sido utilizadas en sistemas de tratamiento en ejercicios investigativos a nivel real y de laboratorio, pero es el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) es

la macrófita de mayor interés ya que alcanza reducciones significativas de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Se logró determinar que por medio de la utilización del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de las Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Doméstica (ARnD) se mejora la calidad de cada uno de los efluentes tratados y se logran eficiencias de remoción significativas para la mayoría de los parámetros en estudio. Es importante establecer un tiempo de retención hidráulico, ya que según Valderrama et. (2014) afirma que los tiempos de retención aumentan la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual. Esto se debe a que se permite que el agua residual esté determinado tiempo en contacto con las raíces del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) se realice su proceso de fitodepuración y se renueven los efluentes tratados, mejorando la eficiencia del sistema.

Martelo & Lara Borrero (2012) afirma que el uso de macrófitas flotantes, en especial el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) ha demostrado de acuerdo con los reportes de la literatura eficiencias de remoción significativamente altas, obteniendo remociones para la DBO_5 de 95% y de hasta 90,2% para la DQO, en cuanto a los sólidos suspendidos se registran remociones que se encuentran en un rango de 21% hasta el 91%. Lo cual se confirma en las eficiencias obtenidas para dichos parámetros en los estudios en comparación. Metcalf & Eddy (1995) afirman que los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, las grasas y aceites, las grasas de animales y los compuestos orgánicos los cuales son muy frecuentes de encontrar en las aguas residuales domésticas, es por esto por lo que la fitodepuración por medio de la utilización del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en el tratamiento de las ARD logró ser eficiente ya que la planta acuática se caracteriza por remover en mayor porcentaje este tipo de contaminantes.

Jianbo et al. (2008) afirma que las aguas residuales de los sistemas piscícolas son ricas en nutrientes, esto se debe a que la alimentación de los peces está compuesta con una gran cantidad de ellos los cuales son necesarios para su crecimiento. Es por ello por lo que en la fitodepuración de Aguas Residuales No Domésticas por medio del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) se encontró que en las investigaciones se evaluaron otros parámetros adicionales como lo son NO_3 , NO_2 , TKN y TP los cuales tuvieron unas eficiencias de remoción significativas. Esto se debe a que según Metcalf & Eddy (1995) las bacterias y las plantas acuáticas necesitan nutrientes para su crecimiento especialmente el nitrógeno y el Fósforo. Estos son absorbidos y asimilados a las estructuras de las plantas y a la masa celular de las bacterias, siendo retirados del medio acuático, reduciendo sus concentraciones y finalmente mejorando la calidad de los efluentes tratados.

6.3. Mecanismos de Remoción de los Contaminantes del Jacinto de Agua

(*Eichhornia Crassipes*) en la Fitodepuración de ARD y ARnD

Remoción de Materia Orgánica: Curt Fernández de la Mora (2014) expresa que los procesos que se llevan a cabo para la remoción de la materia orgánica son de tipo físicos y biológicos. El proceso de remoción biológico se atribuye al metabolismo de los microorganismos heterótrofos aerobios y anaerobios, los cuales utilizan esta materia orgánica para la producción de nueva biomasa y también por las reacciones de óxido reducción a través de la cual se da dicho proceso.

Cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua residual es removida por procesos físicos como la filtración la cual se lleva a cabo cuando la materia orgánica se encuentra soluble en el agua residual y el sistema radicular de las plantas la filtra, como esta materia se encuentra soluble también es aprovechada para ser asimilada por los microorganismos adheridos a las raíces de la planta. La sedimentación se da cuando la materia

orgánica se encuentra en el agua residual en forma particulada y por medio de la floculación son sedimentados en el fondo del humedal.

Remoción de Sólidos en Suspensión: Los sólidos en suspensión son eliminados de una manera muy efectiva en los humedales artificiales, ocurriendo en los 5 primeros metros de distancia desde la entrada (Lahora, 2015). Esto se debe a que la mayoría de los sólidos en suspensión están compuestos por materia la cual se elimina por medio de la filtración a través de las raíces de la planta y por asimilación por parte de los microorganismos, y por sedimentación cuando estos Sólidos se floculan y por su densidad son depositados por gravedad en el fondo del humedal.

Remoción de Nitrógeno: Delgadillo et al. (2010) afirma que el nitrógeno cuando ingresa al humedal en su mayoría se encuentra en forma de amonio o en un compuesto inestable que es fácilmente transformado a amonio. El mecanismo de remoción del nitrógeno del agua residual inicia con la amonificación cuando las bacterias hidrolizan el nitrógeno orgánico y lo transforman en formas más asimilables para la planta como lo es el amonio y amoníaco (Cerón Rincón & Aristizábal Gutiérrez , 2012). Es ahí cuando inicia el proceso de nitrificación donde las bacterias Nitrosomonas oxidan el amonio o amoníaco a nitrito el cual luego por medio de las bacterias Nitrobacter se reduce a nitrato, el cual ingresa al proceso de desnitrificación el cual es el proceso final de la remoción del nitrógeno presente en el agua residual, donde el nitrato se convierte en nitrito y luego a nitrógeno gaseoso el cual es liberado a la atmósfera.

Remoción del Fósforo: Delgadillo et al. (2010) expresa que el Fósforo está presente en las aguas residuales en forma de ortofosfatos (PO_4^{3-}), polifosfatos (P_2O_7) y formas orgánicas del Fósforo. La remoción del Fósforo presente en al agua residual en sus distintas formas se da por medio de absorción cuando las plantas y los microorganismos absorben dicho nutriente como

parte de sus requerimientos nutricionales. Y también se remueve del humedal por medio de la sedimentación cuando este nutriente se encuentra adherido a los sólidos suspendidos y por gravedad se sedimenta en el fondo del humedal.

Remoción de Bacterias: Metcalf & Eddy (1995) afirman que los patógenos pueden encontrarse en la fracción de Sólidos suspendidos presentes en el agua residual. Es por ello por lo que cuando dichos patógenos están adheridos a los sólidos suspendidos son removidos por el humedal por medio de la sedimentación cuando estos Sólidos se depositan en el fondo del humedal. Según Delgadillo et al. (2010) uno de los factores químicos que remueve las bacterias del agua es por medio de la exposición a toxinas. Este proceso se genera cuando otros microorganismos presentes en el agua residual fijan toxinas en el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) siendo liberado por las raíces de la planta una cantidad de antibióticos los cuales atacan los organismos patógenos que se encuentran presentes en el agua residual. Curt Fernández de la Mora (2014) afirma que la remoción de patógenos también se lleva a cabo por medio de la radiación ultravioleta. Esta se lleva a cabo cuando los patógenos se encuentran próximos a la superficie del agua y la radiación ultravioleta penetra la pared celular de los microorganismos siendo absorbida por el ADN y ARN impidiendo la reproducción, se inmovilizan y finalmente se causa la muerte de dichos microorganismos.

Conclusiones

1. Por medio de la recopilación de estudios e investigaciones llevados a cabo a nivel Nacional e Internacional, sobre las experiencias de fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), mediante el uso de plantas acuáticas, como lo es el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), se logra concluir la importancia de este tipo de sistemas biológicos los cuales son una alternativa eficiente y viable para el tratamiento de este tipo de efluentes.
2. Mediante la revisión de los estudios e investigaciones, se pudo comparar la eficiencia de remoción que tiene el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), logrando esta macrófita acuática remociones significativas para materia orgánica medida como DBO₅, DQO, SST, Turbidez y nutriente expresado como el Nitrógeno para ARD. Mientras en ARnD se lograron remociones significativas para materia orgánica medida como DQO, Turbidez y nutriente expresado como el Fósforo.
3. Las remociones de nitrógeno y fósforo fueron similares entre los dos tipos de agua residual, en ARD se removió mejor el nitrógeno y en ARnD la remoción fue mejor para el fósforo, esto puede que haya sido porque en cada una ese nutriente era el más abundante.
4. Las altas eficiencias en cuanto a la remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos presentes en Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), se lograron por medio de una serie de procesos físicos, como lo son la filtración y la sedimentación. Procesos químicos entre los cuales se encuentran, la oxidación, la reducción, la radiación ultravioleta y la adsorción/absorción. Y por

último procesos biológicos como lo son, la degradación aeróbica y anaeróbica, la nitrificación y la desnitrificación.

5. El Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) presenta una buena adaptabilidad a las ARD y ARnD, esto se da, debido a la previa aclimatación de las plantas acuáticas con el agua residual a trabajar, lo cual se realiza con el objetivo de que las plantas asimilen las condiciones a las cuales van a estar expuestas y se mejore la eficiencia del sistema biológico.
6. Se determina que el Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) provee una buena superficie de contacto entre el sistema radicular y el agua residual, lo que permite llevar a cabo el desarrollo de una gran actividad microbiana, que genera una acción depuradora de los contaminantes presentes en el ARD y ARnD. Esto se genera, ya que la planta acuática en su proceso de fotosíntesis aprovecha la energía solar, el agua y el dióxido de carbono para obtener el oxígeno necesario para su respiración, el oxígeno que no aprovechan las raíces, es absorbido por los microorganismos que están presentes en la zona radicular, los cuales llevan a cabo el proceso de mineralización de los contaminantes que ingresan al sistema.
7. Finalmente, se concluye que el tratamiento biológico por medio del uso del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), es factible para la fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD), ya que se garantiza que si se implementa este tipo de sistemas biológicos en zonas rurales o urbanas, se mejora la calidad del recurso hídrico, siendo la macrófita acuática la encargada principal de llevar a cabo los procesos de remoción de los contaminantes presentes en este tipo de efluentes.

Recomendaciones

1. Realizar retiros periódicos del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*), con el fin de mejorar el proceso de remoción de los contaminantes presentes en Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No Domésticas (ARnD).
2. Potencializar el uso de la biomasa resultante del proceso fitodepuración para la obtención de compostaje.
3. Realizar el proceso de fitodepuración del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en climas cálidos.
4. Implementar el sistema de tratamiento biológico en base al Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) como tratamiento secundario o terciario.
5. Desarrollar pruebas piloto de fitodepuración por medio del uso del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en zonas rurales y urbanas.
6. Realizar adaptación previa del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) con el agua residual a trabajar.

Bibliografía

- Akinbile , C. O., & Yusoff, M. S. (2012). ASSESSING WATER HYACINTH (EICHHORNIA CRASSIPES) AND LETTUCE (PISTIA STRATIOTES) EFFECTIVENESS IN AQUACULTURE WASTEWATER TREATMENT. *International Journal of Phytoremediation*, 14(3), 201-211. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2011.587482>
- Arcos Pulido, M. d., Avila de Navia, S. L., Estupiñan Torres, S. M., & Gomez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA*, 69-79. doi:<https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Arias Triguero, Ó. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3339>
- Avila Naranjo , J. D., Castillo Quiñonez , D. A., & Zárate Enríquez , W. S. (2000). *JACINTO DE AGUA (Eichhornia crassipes), ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DULCE EN PRODUCCIÓN ACUICOLA*. Tesis , Escuela Superior Politecnica del Litoral , Guayaquil . Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/7216.pdf>
- Ayala Tocto, R. Y., Calderón Ordoñez , E., Rascón , J., Gómez Ramírez , V. H., & Collazos Silva , R. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia Crassipes, Nymphoides humboldtiana y Nasturtium officinale. *Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable*, 2(3), 48-53. doi:10.25127/aps.20183.403
- Baptiste, M. P., & Cabrera Amaya, D. M. (2018). *Eichhornia Crassipes (Mart) Solms*. Información bioecológica de flora exótica con potencial invasor en Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Bernal , D. P., Cardona, D. A., Galvis , A., & Peña , M. R. (2003). *Guia de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domesticas por metodos naturales*.
Obtenido de Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Trataiento de Aguas Residuales: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/berna.pdf>
- Bernal Nieves , J. V. (2015). *Evaluación de eichhornia crassipes. en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del campus de la universidad nacional de Colombia, sede Orinoquia*. Tesis , Universidad Santo Tomás , Bucaramanga . Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/19130>
- Bernal, C. I. (2004). Tratamiento de los residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportacion con Eichhornia crassipes (Buchon de Agua). *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 23-27. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69510204.pdf>
- Brix , H., & Arias , C. A. (2005). The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, 25(5), 491-500. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.009>
- Caraco, N., Cole , J. J., & Likens, G. E. (1991). A cross-system study of phosphorus release from lake sediments. *Comparative Analyses of Ecosystems*, 12, 241-528.
doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3122-6_12
- Castillo Araya , J. G. (2016). El uso del lirio acuático Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales. *Revista Tecnología En Marcha*, 10(3), 23-28. Obtenido de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2605/pdf
- Cerón Rincón , L. E., & Aristizábal Gutiérrez , F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>

Cirujano, S., Molina, A. M., & Cezón, K. (s.f.). *Taxagua Flora Acuatica: Macrófitos*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas Real Jaardin Botánico.

Coronel Castro , B. E. (2015). *Eficiencia Del Jacinto De Agua Y Lenteja De Agua (Lemma Minor) En El Tratamiento De Las Aguas Residuales De La Universidad Nacional Toribio Rodriguez De Mendoza De Amazonas- Chachapoyas*. Tesis , Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cortés Martinez , F., Luévanos Rojas , A., Luévanos Rojas , R., Uranga Sifuentes , A. C., Ávila Garza , C. M., & González Barrios , J. L. (2011). Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones (Caso Comarca Lagunera Estados de Durango,Mexico). *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 5(3). Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193921377001>

Crites , R. W., middlebrooks, J., & Reed , S. C. (1995). *Natural systems for waste management and* (2 ed.). USA.

Curt Fernandez de la Mora, M. D. (2014). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. (J. F. González, Editor) Obtenido de <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%205.pdf>

Da Cámara , L., Hernández , M., & Paz, L. (2014). *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. Obtenido de <https://docplayer.es/8265831-Manual-de-diseno-para-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-alimenticias-lesly-da-camara-mario-hernandez-y-luiselena-paz.html>

- Del Arco Garcia, J. M. (2015). *La Fitodepuración y Evapotranspiración para el tratamiento de las aguas residuales urbanas de ECODENA*. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/fitodepuracion-y-evapotranspiracion-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales-urbanas-e-industriales>
- Delgadillo Zurita , M., & Condori Carrasco , L. J. (2010). PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON MACRÓFITAS PARA COMUNIDADES CERCANAS AL LAGO TITICACA. *Journal Boliviano de Ciencias*, 7(21), 63-66. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2075-89362010000300013&script=sci_arttext&tlng=es
- Delgadillo, O., Camacho , A., Pérez , F. L., & Andrade , M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (N. A. Durán, Ed.) Cochabamba, Bolivia. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Díaz, A., Atencio G, V., & Pardo , S. (2014). Evaluación de un sistema artificial de humedales de flujo libre con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de efluentes de la piscicultura. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(3). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902014000300006
- Enviromental Protection Agency. (1988). *Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment/ US EPA*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30004626.PDF?Dockey=30004626.PDF>
- Espigares García , M., & Fernández Crehuet, M. (1999). Calidad del agua para consumo público: caracteres fisico-quimicos. (J. A. Pérez López , & M. Espigares García , Edits.) *En estudio sanitario del agua*, 84-114.

Espigares García, M., & Perez López, J. (1995). Estudio sanitario del agua. *Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones*. Obtenido de

<https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/CLORACION.pdf>

Fernandez, J., Beascoechea, E., Muñoz, J., & Fernández, D. (2014). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Manual, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid. Obtenido de

<https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf>

Field, J. (2002). *Biorremediación de Metales Pesados*. Obtenido de

http://binational.pharmacy.arizona.edu/sites/binational.pharmacy.arizona.edu/files/all_files/Biorerem-MP.pdf

Fioravanti, M., Vega , N., Hernández , C., Okumoto , S., & Yeomans, J. (2005). Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para uso agrícola. *Revista Tierra Tropical*, 1(1), 69-76. Obtenido de

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35622569/tratamiento_de_lodos.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEFICIENCIA_DE_LOS_MICROORGANISMOS_EFICAC.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F201

Gachter , R., & Meyer, J. S. (1996). The role of microorganisms in mobilization and fixation of phosphorus in sediments. *Hydrobiol*, 253, 103-121.

doi:<https://doi.org/10.1007/BF00050731>

- García Trujillo , Z. M. (2012). *COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS*. Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima-Perú. Obtenido de http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf
- Gentelini, A. L. (2007). *Tratamiento de Efluente de Piscicultura Orgánica utilizando macrófitas acuáticas Eichhornia crassipes utilizando macrófitas acuáticas Eichhornia crassipes (Mart.Solms) e Eigeria densa (Planchon)*. Tesis, Universidad E Estadual Do Oeste Do Paraná-Unioeste, Cascavel. Obtenido de <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2628/1/Andre%20Luis%20Gentelini.pdf>
- Ghaly , A. E., Kamal , M., & Mahmoud , N. S. (2005). Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environment International*, 31(1), 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.05.011>
- Giraldo Gómez , G. I. (1995). *Manual de Análisis de Aguas*. Manual , Universidad Nacional de Colombia , Manizales. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>
- Gómez, P. D. (2018). Lo que falta en suministro de agua y alcantarillado en Colombia. *El Espectador*. Obtenido de <https://www.elspectador.com/economia/lo-que-falta-en-suministro-de-agua-y-alcantarillado-en-colombia-articulo-802501>
- González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Mente y Materia*, 4(1), 12-13.
- Guio Arteaga , D. G., & Toscano Hernández , J. D. (2010). *Fitorremediación en humedal artificial con Eichhornia Crassipes en la remoción de materia orgánica en muestras de*

agua del canal albina en Bogotá. Tesis , Bogotá. Obtenido de

<http://hdl.handle.net/20.500.12010/3417>

Gustavo G, H. S., M Camargo , A. F., & M Pezzato , M. M. (2008). Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia*, 610(153), 153-160. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-008-9430-0>

Jianbo, L., Zhihui, F., & Zhaozheng, Y. (2008). Performance of a water hyacinth (eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. *Journal of Environmental Sciences*, 20(5), 513-519. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62088-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62088-4)

Jiang, Z., & Xinyuan , Z. (1998). Treatment and utilization of wastewater in the Beijing Zoo by an aquatic macrophyte system. *Ingeniería Ecológica*, 11(1-4), 101-110. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(98\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(98)00026-3)

Lahora, A. (2015). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la edar de los gallardos (Almería). *Ecología, manejo y conservación de los humedales*, 99-112. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28152115_Depuracion_de_aguas_residuales_mediante_humedales_artificiales_la_EDAR_de_Los_Gallardos_ALMERIA

López Hernández , E., Martínez Nava, J. G., & García Santiago, J. L. (2014). *Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)*. Obtenido de https://www.academia.edu/9209870/Determinaci%C3%B3n_de_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Totales_SST_y_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Vol%C3%A1tiles_SSV_en_agua_tratada

Machado , T., & Roldán P, G. (1981). Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río anori y sus principales afluentes. *Revista Actualidades Biológicas*, 10(35).

Obtenido de

<https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/actbio/article/view/330369/207866>

59

- Mal, R., Sampaio, I., & Parolin, P. (2015). Biofilter efficiency of eichhornia crassipes in wastewater treatment of fish farming. *Revista Internacional de Botánica Experimental Internacional Journal Of Experimental Botany*, 84, 244-251. Obtenido de http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol84-1/Rubim_COLOR.pdf
- Martelo, J., & Lara Botero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Mendoza Guerra , Y. I., Castro Echavez , F. L., Marín Leal , J. C., & Behling Quintero , E. H. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 39(2), 71-79. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lang=es
- Metcalf , & Eddy . (1995). *Tratamiento, vertido y reutilización* (Vol. 1). (A. G. Brage, Ed.) España. Obtenido de https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *RESOLUCION N° 0631*. Obtenido de <http://www.aguasdebuga.net/intranet/sites/default/files/Resoluci%C3%B3n%200631%20de%202015-Calidad%20vertimientos.pdf>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Plan Nacional De Manejo De Aguas Residuales Municipales En Colombia*. Bogota. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/plan_nacional_de_manejo_de_aguas_residuales_municipales_en_colombia.pdf
- Morales, E. (1986). Potencial de las plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia y Tecnología*, 4(2), 26 - 28.
- Núñez Morales , E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca*. Universidad Peruana Unión , Quechua, Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1797>
- Organización Mundial De La Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: WHO Graphics. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Ospina Zuñiga , Ò., García Cobas , G., Gordillo Rivera , J., & Tovar Hernandez , K. (2016). Assessment of Murky Water and its Conductivity During Dry and Rainy Seasons in Combeima River (Ibagué, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 12(19), 19-36. doi:doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1191>
- Peña Varon, M., Van Ginneken, M., & Madera , C. (2003). Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. *Ingeniería y Competitividad*, 5(1), 27 - 35. doi:<https://doi.org/10.25100/iyc.v5i1.2302>

- Portielje, R., & Roijackers, R. M. (1995). Primary succession of aquatic macrophytes in experimental ditches in relation to nutrient input. *Aquatic Botany*, 50(2), 127-140.
doi:[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(94\)00439-S](https://doi.org/10.1016/0304-3770(94)00439-S)
- Qiu , D., Wu, Z., Liu , B., Deng, J., Fu, G., & He , F. (2001). The restoration of aquatic macrophytes for improving water quality in a hypertrophic shallow lake in Hubei Province, China. *Ingeniería Ecológica*, 18(2), 147-156.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00074-X)
- Queralt , R. (2003). *Tratamiento de aguas industriales: Generalidades*. Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona .
- Quiròs, R. (2000). *La eutrofización de las aguas continentales de Argentina*. Obtenido de <https://ced.agro.uba.ar/ubatic/sites/default/files/files/EutroArgentina.pdf>
- Ramos Montaña, C., Cárdenas Avella, N. M., & Herrera Martinez, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 4(2), 73-82.
- Ramos Ortega , L. M., A Vidal , L., Vilardy Q , S., & Saavedra Diaz , L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (Coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 85-96. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300007&lang=es
- Ríos Tobón , S., Agudelo Cadavid , R. M., & Gutiérrez Builes , L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. doi:10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08

Rodriguez , T., Botelho, D., & Cleto , E. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(46), 24-38. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n46/n46a03.pdf>

Rodríguez Pérez de Agreda, C., Marrero Díaz , M., Guerra Díaz , L., & Hernández de Armas , J. M. (1996). *ACCIÓN DEPURADORA DE ALGUNAS PLANTAS ACUÁTICAS SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/info/aguas.pdf>

Rodriguez R, L. F., Ortiz Muñoz, Y. D., Navarro Chaparro, H., Espinosa Garcia, H., & Hernandez Montaña, V. (2006). Ensayos de eficiencia con macrofitas para la remoción de carga contaminante en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la Laguna de Fúquene. *Revista Científica Medio Ambiente y Recursos naturales*(8), 131-156. doi:<https://doi.org/10.14483/23448350.341>

Ruiz , O., Acero , A., Russo , B., & Lapuente , M. (2017). Planta Piloto para el análisis del rendimiento de la depuración de aguas fecales mediante macrofitas. *JIA*, 1-15. Obtenido de <http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rs8.pdf>

Sanz Elorza, M., Dana Sanchez, E., & Sobrino Vesperinas, E. (2004). *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España*. (D. G. Biodiversidad, Ed.) Madrid, España.

Secretaria De Comercio y Fomento Industrial DNG. (2000). *Análisis de agua- determinación de solidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba (cancela a la NMX-AA-004-1977)*. Informe , Mexico. Obtenido de <http://www.anii.org.mx/pqta/pdf/NMX-AA-fisicos.pdf>

Secretaria de la Convencion de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar 6° edición* (6 ed.). Ramsar , Irán: Secretaria de la Convencion de Ramsar. Obtenido de

<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

Secretaria General de la Comunidad Andina. (2018). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Lima. Obtenido de

http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf

Stewart , N. T., Boardman, G. D., & Helfrich, L. A. (2006). Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. 35(2), 191-198.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.01.004>

Tuesta Flores , N. V. (2016). *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia crassipes M. ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014*. Tesis , UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO , Moyobamba.

doi:<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/201/6052414.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valderrama , L. T., Campos, C., Velandia , S., & Zapata N. (2014). *Evaluacion del efecto del tratamiento con plantas acuaticas (E. Crassipes, Lemna sp. y L. Laevigatum) en la remocion de indicadores de contaminacion fecal en aguas residuales domesticas*.

Articulo , Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de

https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_10-59-33111050.pdf

- Valderrama, L. T. (1996). Evaluar a escala piloto el efecto de dos macrofitas acuáticas *Limnobium laevigatum*, y *Eichhornia Crassipes* para el mejoramiento de la calidad de un agua residual agroindustrial. *Universitas Scientiarum*, 3(12), 83-87.
- Valipour , A., Kalyan Raman , V., & Ghole , V. S. (2011). Phytoremediation of Domestic Water Using *Eichhornia Crassipes*. *journal environmental sciences*, 53(2), 183-190.
- Vanguardia Editorial. (2016). *El problema de las aguas residuales*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/opinion/editorial/el-problema-de-las-aguas-residuales-BFVL379459>
- Vásquez Chingay , J. E. (2018). *REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - TRUJILLO UTILIZANDO JACINTO DE AGUA (Eichhornia Crassipes) EN HUMEDALES ARTIFICIALES*. Tesis , Universidad César Vallejo , Trujillo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/33468>
- Villegas , J., Cortazar , V., Lozano , A., Ramírez , D., Nagakane , V., & Vallester , E. (2017). Evaluaciòn del desarrollo de un microsisistema de macròfitas flotantes a escala de laboratorio. *Revista De Iniciaciòn Científica*, 3(2), 70-76. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1755/2496>
- Vizcaíno Mendoza , L., & Fuentes Molina , N. (2016). Efectos de eisenia foetida y eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 189-198. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100022

Vizcaíno Mendoza, L., Fuentes Molina, N., & González Fragozo, H. (2017). ADSORCIÓN DE PLOMO (II) EN SOLUCIÓN ACUOSA CON TALLOS Y HOJAS DE *Eichhornia crassipes*. *Revista Actualidad y Divulgación Científica*, 20(2), 435-444.

doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.400>

Vymazal, J. (2013). The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. *Water Research*, 47(14), 4795 - 4811. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.029>

Wu, S., Carvalho, P. N., muller, J. A., Manoj, R. V., & Dong, R. (2016). Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. *Revista ciencia del medio ambiente total*, 541, 8-22.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.047>